

การจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น
เทอร์โมอิเล็กทริกโดยการพัฒนาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า

SIMULATION FOR DEVELOPMENT OF DC INPUT VOLTAGE TO
IMPROVE THERMOELECTRIC COOLER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-SC-M-030-126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION FOR DEVELOPMENT OF DC INPUT VOLTAGE TO
IMPROVE THERMOELECTRIC COOLER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2022

KMITL-2022-SC-M-030-126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็น
ชื่อนักศึกษา	เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โดยการพัฒนาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า
รหัสประจำตัว	วันสนันท์ งามทรัพย์มณี
ปริญญา	62605102
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
พ.ศ.	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพล โขลกกระโทก
	รองศาสตราจารย์ ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการจำลองหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการจำลองการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์เพื่อการประยุกต์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บวักซิน วักซินไวต่ออุณหภูมิ จึงมีระบบจัดเก็บวักซิน แต่ข้อเสีย คือ ใหญ่ ไม่เหมาะกับการย้าย จึงมีการศึกษาอุปกรณ์ทำความเย็นที่รักษาอุณหภูมิ ขนย้ายได้ คือ ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ แต่มีกำลังไฟฟ้าที่สูง งานวิจัยจึงศึกษาพารามิเตอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้า คือ ดิวตี้ไซเคิล และความถี่ การจำลองมีระบบ 2 ระบบ ระบบแรก คือ ระบบเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์อย่างง่าย จำลองเพื่อศึกษาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จากพารามิเตอร์ 2 ชนิด 1. กระแสไฟฟ้าตรง 2. ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ตอนที่ 3.3.1 กระแสไฟฟ้าตรง จำลองแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง 1 ถึง 10 A 100 s พบว่า กระแสไฟฟ้าตรง 5 A สำหรับผลการจำลองในงานวิจัยนี้อุณหภูมิด้านเย็นจะลดลงต่ำสุดที่ $-4.99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตอนที่ 3.3.2 ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ แบ่งออกเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 จำลองความถี่ 1 10 100 1000 Hz 100 s ตอนที่ 2 จำลองความถี่ 0.1 ถึง 1 Hz 100 s ตอนที่ 3 จำลองความถี่ 10 ถึง 100 Hz 100 s พบว่า พบว่าความถี่ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1 Hz เป็นช่วงความถี่ต่ำ ทำความเย็นได้น้อย ความถี่ตั้งแต่ 40 เป็นต้นไป เป็นความถี่ที่สามารถทำความเย็นได้สูงสุด ต่อมาการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ตอนที่ 1 กำหนดกระแสไฟฟ้า 5 A และ ความถี่ 40 Hz ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 100% เมื่ออุณหภูมิลดถึง $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าดิวตี้ไซเคิลสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ แต่ใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง เมื่อเรามีกำลังไฟฟ้าที่จำกัด ตอนที่ 2 จำลองการไบแอสค่ากระแสไฟฟ้า ตั้งแต่ 1 – 4 A ให้แก่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 5 A ความถี่ 40 Hz ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 100% เมื่ออุณหภูมิลดถึง $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผลการจำลองพบว่า การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 80% ของการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำความเย็นได้ดีกว่า ซึ่งเวลาในการทำงานจะลดลง อีกทั้งช่วยลดกำลังไฟฟ้า และช่วยเพิ่มค่า

ประสิทธิภาพในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การทำความเย็น เทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นร้อนเย็น รอบการทำงาน สัตถุญาณไฟฟ้า
กระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Simulation for Development of DC Input Voltage to Improve Thermoelectric Cooler
Student Name	Wanasanan Ngamsapmanee
Student ID	62605102
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2022
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Bhanupol Klongratog
Thesis Co-advisor	Assoc. Prof. Dr. Aparporn Sakulkalavek

Abstract

This research proposes optimization condition of thermoelectric cooling using pulse current wave simulation for storage of vaccines application. The storage system has created because the vaccine is sensitive to temperature but the weak point is the storage is not suitable for moving. Therefore, the study of Thermoelectric cooling system which keeping the vaccine in good conditions and suitable for moving. Nevertheless, there is a limitation to the thermoelectric cooling. It's electric power is too high. The research studies parameters to reduce power and the optimum parameters are duty cycle and frequency. The simulation has two systems. First system is a simple thermoelectric system. Simulate to study current source from 2 types of parameters. 1. DC current 2. Frequency of pulsed current wave. Chapter 3.3.1 DC Current. Apply DC current 1 to 10 A to thermoelectric device for 100 s . The results showed that current 5 A has lowest temperature at cold side. Chapter 3.3.2 Frequency of pulsed current wave. There are 3 parts: Part 1 Apply frequency 1 10 100 1000 Hz Part 2 Apply frequency 0.1 to 1 Hz , Part 3 Apply the frequency 10 to 100 Hz for 100 s . It is found that the frequency from 0.1 to 1 Hz is a low frequency range. Frequency 40 Hz is the frequency that can cool the most. Subsequently, Part 1 Simulation of a thermoelectric cooling. Set current 5 A , frequency 40 Hz duty cycle is 10% to 100%. When the temperature is reduced to 8 $^{\circ}C$, it is found that the duty cycle can reduce the power supplied to the thermoelectric cooling. Nevertheless, it takes more time to cool. which is one option When power is limited. Part 2 Simulates bias of current from 1 – 4 A to pulsed current wave. Maximum current at 5 A , frequency 40 Hz , duty cycle 10% to 100%. When the temperature is reduced to 8

°C , The simulation results showed that at 80% of DC power supply can cool better. Which the cooling time will be reduced, reduce the power and increase the coefficient of performance.

Keywords : Cooling Duty Cycle Peltier Pulsed current wave Thermoelectric



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก และรองศาสตราจารย์ ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษารวมทั้งความรู้ และความช่วยเหลือ ในการทำงาน มาโดยตลอด ข้าพเจ้านั้นขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณดร. ณีฎกฤช สมดอก เพื่อน พี่ น้อง ที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวที่เลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี และยังส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเพิ่มเติม ในเส้นทางที่ข้าพเจ้าสนใจ และคอยเป็นกำลังใจอยู่เสมอ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วานสนันท์ งามทรัพย์มณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระแสไฟฟ้า	4
2.1.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ	4
2.1.2 ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.2 รูปร่างสัญญาณไฟฟ้า	5
2.2.1 สัญญาณลาดเอียง	5
2.2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	6
2.2.3 การคำนวณค่าชั่วขณะ ค่าเฉลี่ย ค่าใช้งาน และ True RMS	10
2.3 ระบบทำความเย็น	13
2.3.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	14
2.3.2 ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	16
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริก	16
2.4.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	17
2.4.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	24
2.4.3 การทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็น	25
2.5 MATLAB Simulink	29
2.6 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	33
3.1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	33
3.1.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	33
3.1.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	34
3.1.3 แผงระบายความร้อน	34
3.2 อุปกรณ์สำหรับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	35
3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	35
3.2.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	38
3.2.3 ระบบถ่ายโอนความร้อน	38
3.2.4 ระบบการวัด	45
3.2.5 อื่นๆ	46
3.3 วิธีการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย	47
3.3.1 กระแสไฟฟ้าตรง	49
3.3.2 ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์	49
3.4 วิธีการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	52
บทที่ 4 ผลการจำลองและการอภิปรายผล	56
4.1 ผลการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	56
4.4.1 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้า	56
4.4.2 ผลการจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์	57
4.2 ผลการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	60
บทที่ 5 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการจำลอง	66
5.1.1 การจำลองระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย	66
5.1.2 การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 มวลของผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน	42
ตารางที่ 3.2 พื้นที่ผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน	43
ตารางที่ 3.2 พื้นที่ผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน	44
ตารางที่ 4.1 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ที่ 1 10 100 และ 1000 <i>Hz</i>	58
ตารางที่ 4.2 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง 1 <i>Hz</i>	59
ตารางที่ 4.3 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ 10 ถึง 100 <i>Hz</i>	60
ตารางที่ 4.4 การจำลองการไบแอสกระแสไฟฟ้ให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ	4
รูปที่ 2.2 รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (ก) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวก (ข) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวก	5
รูปที่ 2.3 รูปสัญญาณลาตเอียง (ก) สัญญาณลาตเอียงด้านบวกและลบ (ข) คลื่นสามเหลี่ยม (ค) รูปคลื่นฟันเลื่อย	5
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (ก) แสดงขอบหน้าและขอบหลังของพัลส์ (ข) คลื่นจัตุรัส (ค) คลื่นพัลส์	6
รูป 2.5 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ	7
รูปที่ 2.6 ช่วงเวลาไต่ขึ้นและช่วงเวลาตก	8
รูปที่ 2.7 ความกว้างของพัลส์	9
รูปที่ 2.8 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ	9
รูปที่ 2.9 ค่าชั่วขณะของรูปคลื่นไซน์	10
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	12
รูปที่ 2.11 รูปสัญญาณ Non-Sinusoidal	13
รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ	15
รูปที่ 2.13 ปรากฏการณ์ซีเบค	17
รูปที่ 2.14 ปรากฏการณ์เพลเทียร์	19
รูปที่ 2.15 ปรากฏการณ์ทอมสัน	20
รูปที่ 2.16 โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก	24
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	24
รูปที่ 2.18 การทำความเย็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	26
รูปที่ 2.19 ระบบทำความเย็น	28
รูปที่ 20 กล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	30
รูปที่ 21 ตำแหน่งการติดตั้งระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	31
รูปที่ 22 รูปร่างพัลส์กระแสไฟฟ้า	32
รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทำความเย็นเฉลี่ย และประสิทธิภาพการทำความเย็น	32
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์	33
รูปที่ 3.2 ไฟฟ้ากระแสตรง (ก) ไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น (ข) ไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์	34
รูปที่ 3.3 แผงระบายความร้อน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การต่อใช้งานระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย	35
รูปที่ 3.5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ค) สัญญาณเอาต์พุต	36
รูปที่ 3.6 แหล่งสร้างสัญญาณ (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งสร้างสัญญาณ (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งสร้างสัญญาณ (ค) สัญญาณเอาต์พุต	37
รูปที่ 3.7 แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า (ข) ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า	37
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (ก) บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) หน้าตั้งค่าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	38
รูปที่ 3.9 การจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ (ข) อุปกรณ์สำหรับการจำลอง	39
รูปที่ 3.10 การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ (ข) อุปกรณ์สำหรับการจำลอง	40
รูปที่ 3.11 แผ่นอะลูมิเนียม (ก) บล็อกไดอะแกรมมวลความร้อน (ข) หน้าตั้งค่ามวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม	41
รูปที่ 3.12 การจำลองการเก็บความร้อนของผนังอะลูมิเนียม	41
รูปที่ 3.13 ซิลิโคนนำความร้อน (ก) บล็อกไดอะแกรมการนำความร้อน (ข) หน้าตั้งค่าการนำความร้อนของซิลิโคน	42
รูปที่ 3.14 การจำลองการนำความร้อนของผนังอะลูมิเนียม	43
รูปที่ 3.15 การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม (ก) บล็อกไดอะแกรมการพาความร้อน (ข) หน้าตั้งค่าการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม	43
รูปที่ 3.16 การจำลองการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม	44
รูปที่ 3.17 แผงระบายความร้อน (ก) บล็อกไดอะแกรมแผงระบายความร้อน (ข) หน้าตั้งค่าแผงระบายความร้อน (ค) หน้าตั้งค่าพัดลมระบายความร้อน	45
รูปที่ 3.18 แหล่งความร้อนในบรรยากาศ (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งความร้อน (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งความร้อน	45
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า	45
รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า	46
รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์ตรวจวัดอัตราการไหลของความร้อน	46
รูปที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	46
รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการตั้งค่าพารามิเตอร์	46
รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย	

(ก) โดยมีบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) โดยมีบล็อกสร้างรูปสัญญาณเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า	48
รูปที่ 3.25 การไบแอสไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์	54
รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมการจำลองตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	55
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าตรงและอุณหภูมิด้านเย็น	57
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กำลังไฟฟ้าที่ และค่าประสิทธิภาพ	61
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวชี้เซลล์ เวลา กำลังไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพ	63
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวชี้เซลล์ เวลาและอุณหภูมิด้านเย็น	64
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวชี้เซลล์ เวลาและอุณหภูมิด้านเย็น	64
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้เซลล์ และอุณหภูมิด้านร้อน	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัคซีน คือ ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตจากสิ่งมีชีวิต เกิดจากการสังเคราะห์ หรือกระบวนการที่นำมาใช้เพื่อเป็นการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรคของมนุษย์ ซึ่งสามารถป้องกัน รักษา หรือลดความรุนแรงของโรคได้ วัคซีนไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากอยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม จะทำให้วัคซีนเสื่อมคุณภาพและไม่สามารถกระตุ้นการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรค อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีนจะอยู่ที่ 2 ถึง 8 °C [1] ดังนั้นจึงต้องมีระบบที่ใช้ในการเก็บรักษาวัคซีนและกระจายวัคซีนให้คงคุณภาพ ตั้งแต่จุดผลิตถึงผู้รับวัคซีน ซึ่งอุปกรณ์ในการเก็บรักษาอุณหภูมิของวัคซีนมีหลายประเภท เช่น ตู้แช่แข็งหรือตู้เย็นแบบอัดไอสามารถเก็บวัคซีนได้อย่างน้อยหนึ่งเดือน ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูง และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอด แต่ข้อเสียของตู้แช่แข็งหรือตู้เย็นนั้นคือ มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จึงไม่เหมาะกับการขนย้าย และอาจเกิดความเสียหายระหว่างขนย้าย [2]

ดังนั้นจึงมีการศึกษาอุปกรณ์ทำความเย็นที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสม และมีขนาดพกพา เพื่อเหมาะกับการขนย้ายได้สะดวก สำหรับพื้นที่ห่างไกล [3]–[5] อีกทั้งเมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีการนำเสนอเทคโนโลยีในการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler) ที่อาศัยแผ่นเพเลเทียร์ในการทำความเย็น ซึ่งระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นระบบทำความเย็นที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ใช้สารทำความเย็น แต่ใช้ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อทำให้เกิดความเย็น ไม่มีเสียงรบกวนในขณะที่ทำความเย็น มีขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาได้สะดวกจึงมีการนำระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้าน เช่น การประยุกต์ใช้งานเพื่อขนส่งอาหาร เวชภัณฑ์ น้ำเชื้อ หรืออวัยวะในการแพทย์ [6] อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกยังต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่สูง แต่สามารถทำความเย็นได้เล็กน้อย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำความเย็น (Coefficient of performance) [7]–[14] ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพที่สำคัญของระบบทำความเย็น เช่น การปรับปรุงตัวระบายความร้อนที่เชื่อมต่อกับอยู่กับระบบทำความเย็น [15],[16] ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกของระบบทำความเย็น [17] และการปรับปรุงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก [18]–[20] จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบต่างๆ [21]เริ่มตั้งแต่รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม (Square) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เพิ่มขึ้นแบบแรมป์ (Ramp up) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ลดลงแบบแรมป์ (Ramp down) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่เพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential rise) และรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Decay) โดยจากผลการทดลองทำให้ทราบว่ารูปสัญญาณไฟฟ้าเอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม ให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นได้สูงที่สุด อีกทั้งยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปกติ แต่ในการจำลองนี้เป็นการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมแบบพัลส์เดี่ยว ซึ่งไม่สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ จึงไม่เหมาะสมกับการจัดเก็บวัคซีน

ในงานวิจัยนี้จึงมีสนใจศึกษาเกี่ยวกับระบบการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง โดยการจำลองการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมแบบพัลส์ต่อเนื่อง มีพารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ดิวตีไซเคิล และความถี่ การปรับปรุงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยผลการจำลองระบบจะทำให้ทราบเงื่อนไขของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำให้ระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการใช้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษากระบวนการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
- 2) จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) จำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านโปรแกรม MATLAB license: 40904942
- 2) ศึกษาการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการทำความเย็นที่ดีที่สุด
- 3) ศึกษาการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ความถี่ตั้งแต่ 1 – 1000 Hz ที่ดิวตีไซเคิลที่ 10% - 90% เพื่อการทำความเย็นที่ดีที่สุด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลา											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง												
ศึกษาและทดลองระบบทำความเย็น												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมอิเล็กทริก เชิงพาณิชย์	■	■										
ศึกษาปริมาณทาง ฟิสิกส์และ ความสัมพันธ์ของ พารามิเตอร์ต่างๆ			■									
ศึกษาและจำลอง วงจรจ่าย กระแสไฟฟ้า รูปร่างต่างๆ				■	■							
ทดสอบวงจรจ่าย กระแสไฟฟ้าที่ สร้างขึ้นใช้ร่วมกับ ระบบทำความเย็น เทอร์โมอิเล็กทริก						■	■	■				
วิเคราะห์ ประสิทธิภาพการ ทำความเย็นจาก การจ่าย กระแสไฟฟ้า รูปร่างต่างๆ									■	■		
ทำการทดลองซ้ำ											■	
วิเคราะห์ผลและ สรุปผลการทดลอง												■
จัดทำเล่ม วิทยานิพนธ์												■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการทำ
ความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการใช้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะมีการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยจะประกอบไปด้วย

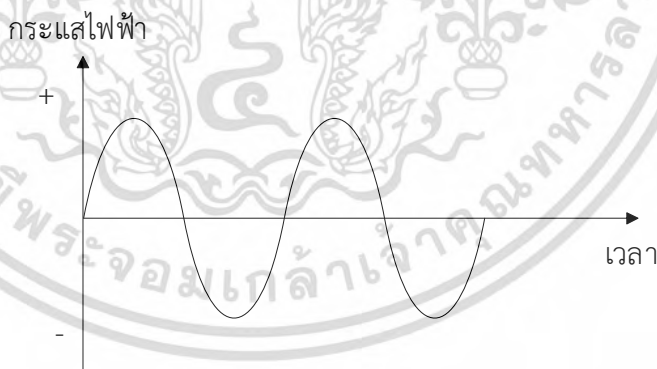
1. กระแสไฟฟ้า
 2. รูปร่างสัญญาณไฟฟ้า [22]–[25]
 3. ระบบทำความเย็น [2], [26], [27]
 4. เทอร์โมอิเล็กทริก [1], [28]
 5. MATLAB Simulink [29]
 6. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดใดๆ หากประจุไฟฟ้ามีจำนวนมาก เท่ากับว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลมาก จำนวนกระแสไฟฟ้า สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์ (A) เครื่องมือสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า เรียกว่า แอมมิเตอร์ โดยชนิดของกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC)

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ กระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วในทิศทางที่เป็นบวกและลบ ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีขนาดไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า ความถี่ของไฟกระแสสลับ มีหน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) คือ จำนวนรอบคลื่นต่อหนึ่งวินาที ลักษณะการไหลเช่นนี้ เรียกว่า Sine Wave ดังรูปที่ 2.1



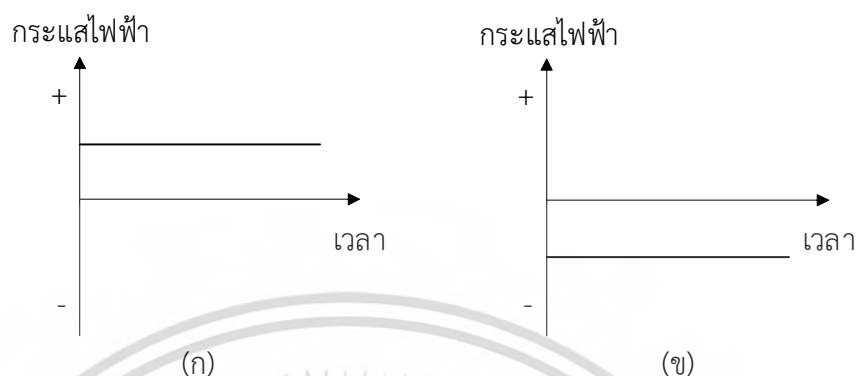
รูปที่ 2.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.2 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)

ไฟฟ้ากระแสตรง คือ กระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา มีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว คือ ไหลจากขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้วกระแสไฟฟ้าจะไหลกลับเข้าไปยังขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอีกครั้ง คุณสมบัติของไฟฟ้ากระแสตรง

คือ กระแสไฟฟ้าไหลไปทิศทางเดียวตลอด ซึ่งจะอยู่ในทิศทางที่เป็นบวกหรือลบ อย่างใดอย่างหนึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงทิศทางเดียว เช่น รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวก และรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านลบ ดังรูป 2.2 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.2 รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

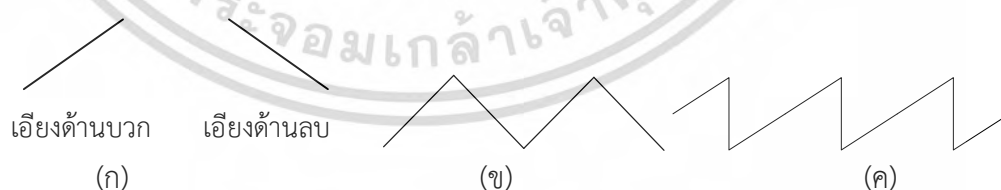
(ก) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวก

(ข) รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้านลบ

2.2 รูปร่างสัญญาณไฟฟ้า

2.2.1 สัญญาณลาดเอียง (Ramp)

สัญญาณลาดเอียง คือ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณในลักษณะลาดเอียง สัญญาณลาดเอียงบวก (Positive-going ramp) คือ เอียงขึ้นจากระดับต่ำไปสูง หากสัญญาณลาดเอียงจากระดับสูงลงมาต่ำ เรียกว่า สัญญาณลาดเอียงลบ (Negative-going ramp) ดังรูป 2.3 (ก) ถ้าความลาดเอียงของสัญญาณทั้งสองเท่ากัน เรียกว่า รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) ดังรูป 2.3 (ข) แต่หากความลาดเอียงของสัญญาณไม่เท่ากัน เรียกว่า รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveforms) ดังรูป 2.3 (ค)



รูปที่ 2.3 รูปสัญญาณลาดเอียง

(ก) สัญญาณลาดเอียงด้านบวกและลบ

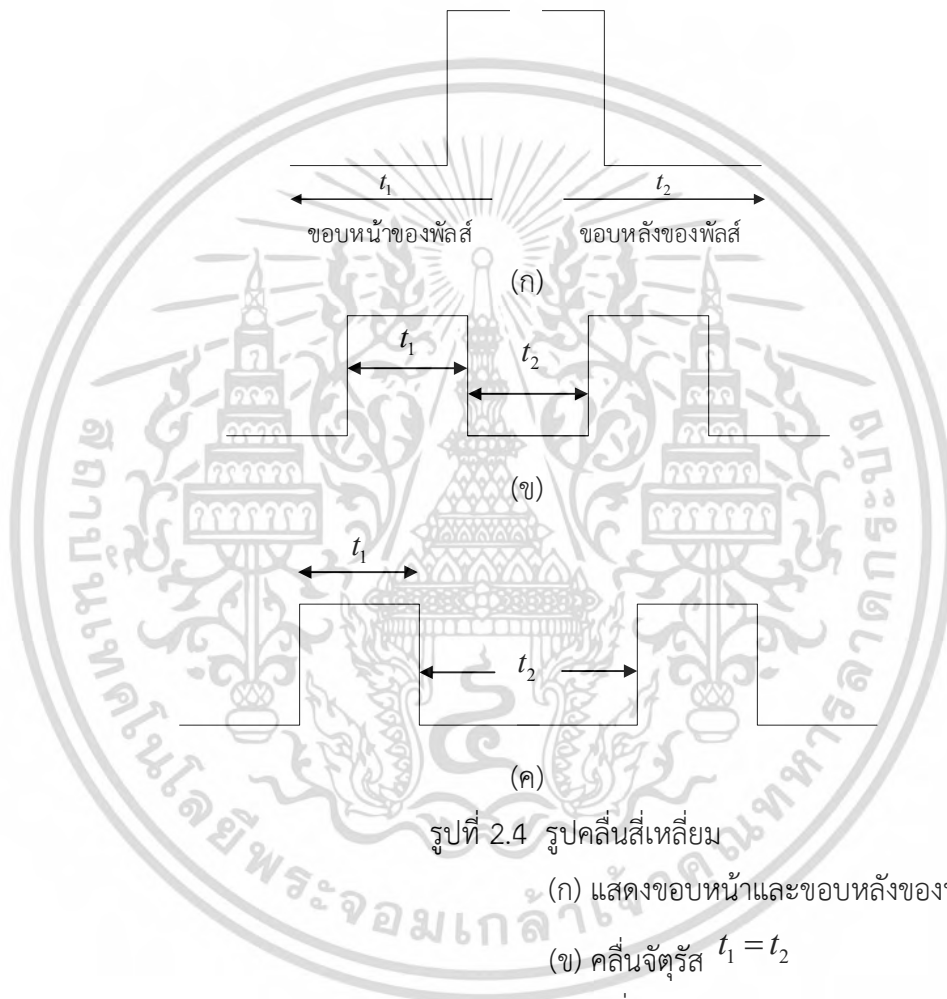
(ข) คลื่นสามเหลี่ยม

(ค) รูปคลื่นฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)

รูปคลื่นสี่เหลี่ยม คือ สัญญาณที่เกิดจากระดับสัญญาณแรงดันไฟตรง เปลี่ยนแปลงเป็นขึ้นหรือรูปขึ้นบันไดสองลักษณะ คือ ขอบหน้าของพัลส์ และขอบหลังของพัลส์ ดังรูป 2.4 (ก) รูปคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาด้านบวก (t_1) และด้านลบ (t_2) เท่ากัน $t_1 = t_2$ เรียกว่า รูปคลื่นจัตุรัส ดังรูป 2.4 (ข) แต่ถ้า $t_1 \neq t_2$ เรียกว่า รูปคลื่นพัลส์ (Pulse waveforms) ดังรูป 2.4 (ค) ซึ่งจะกล่าวถึงคุณลักษณะต่างของรูปคลื่นพัลส์ต่อไป



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

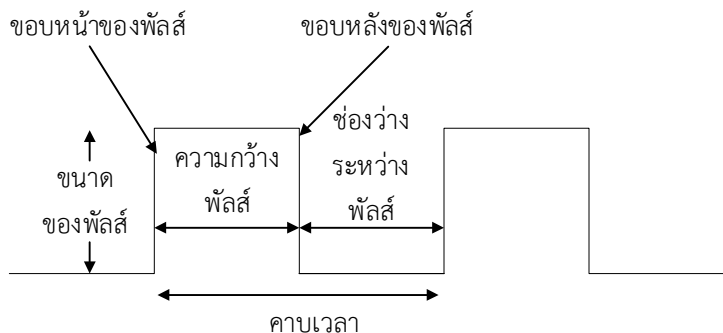
(ก) แสดงขอบหน้าและขอบหลังของพัลส์

(ข) คลื่นจัตุรัส $t_1 = t_2$

(ค) คลื่นพัลส์ $t_1 \neq t_2$

2.2.2.1 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ (Ideal pulse waveform)

รูปคลื่นพัลส์ที่เกิดขึ้นโดยไม่คิดถึงช่วงเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้น ในขณะที่สัญญาณพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับแรงดันต่ำสุดไปยังแรงดันสูงสุด หรือจากระดับแรงดันสูงสุด ไปยังแรงดันต่ำสุด รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ ดังรูป 2.5



รูป 2.5 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ

- ขนาดของพัลส์ (Pulse amplitude) คือ ค่าที่วัดได้จากระดับแรงดันศูนย์โวลต์ไปถึงค่าสูงสุด (Peak value) ของพัลส์
- ขอบหน้าของพัลส์ (Leading edge or rising edge or positive – going edge) คือ ชั้นของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจากระดับแรงดันต่ำสุด ไปยังแรงดันสูงสุด
- ขอบหลังของพัลส์ (Trailing edge or falling edge or negative – going edge) คือ ชั้นของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันสูงสุด ไปยังแรงดันต่ำสุดของพัลส์
- คาบเวลาของพัลส์ (Time period : T) คือ ระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลาเท่ากับ 0 จนถึงขอบหน้าของพัลส์คลื่นต่อไป มีหน่วยเป็นวินาที (s)
- ความถี่ (Frequency : f) คือ จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลามีหน่วยเป็นรอบ/วินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz)

คาบเวลาและความถี่ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

- ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width : PW) คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของ พัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์
- ช่องว่างระหว่างพัลส์ (Space Width : SW) คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหลังของพัลส์รูปคลื่นแรกจนถึงขอบหน้าพัลส์รูปคลื่นถัดไป
- อัตราส่วนของพัลส์ (M/S ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ PW กับช่องว่างระหว่างพัลส์
- วัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างพัลส์ กับ

คาบเวลาของพัลส์ (T) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

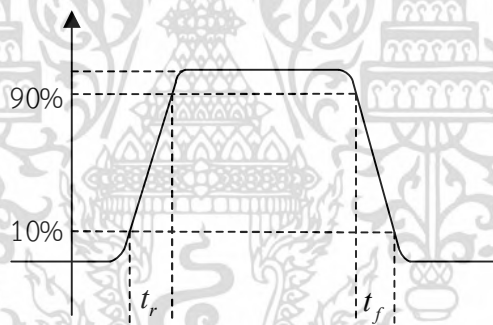
$$DutyCycle = \frac{PW \times 100}{T} \% \quad (2.3)$$

2.2.2.2 คุณลักษณะพัลส์ในทางปฏิบัติ

พัลส์ที่ผ่านมา เป็นพัลส์ในอุดมคติซึ่งมีความสมบูรณ์ เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขอบหน้า และขอบหลัง ตรงตามสเกล แต่ในทางปฏิบัตินั้น พัลส์จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 คือ มีความเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ และช่วงเวลาต่างๆ ไม่ตรงตามสเกล ซึ่งจะไม่ราบเรียบสมบูรณ์เหมือนสัญญาณพัลส์ในอุดมคติ

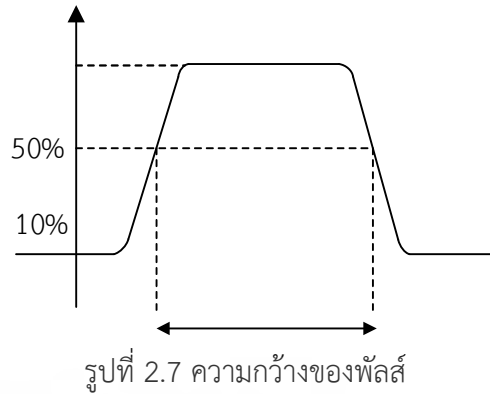
- เวลาไต่ขึ้น (Rise time : t_r) คือ ระยะเวลาที่สัญญาณพัลส์ขอบหน้าเปลี่ยนแปลงจากขนาดของสัญญาณที่ 10% ไปจนถึงขนาดของสัญญาณที่ 90% ของขนาดสัญญาณสูงสุดของขอบหน้าของพัลส์ ดังรูป 2.6

- เวลาตก (Fall time : t_f) คือ ระยะเวลาที่สัญญาณพัลส์ขอบหลังตกจากระดับของสัญญาณที่ 90% ลงไปจนถึง 10% ของขนาดสัญญาณสูงสุดของขอบหลังของพัลส์ ดังรูป 2.6



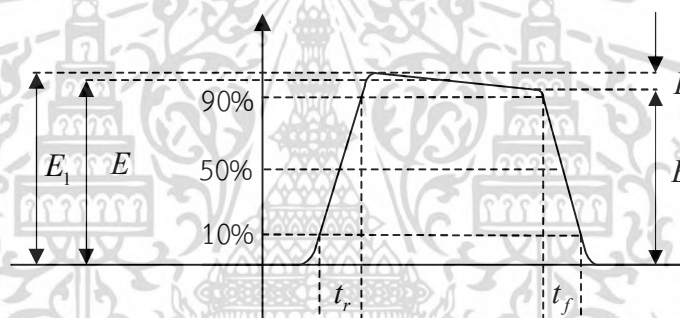
รูปที่ 2.6 ช่วงเวลาไต่ขึ้นและช่วงเวลาตก

- ความกว้างของพัลส์ (PW) สามารถวัดจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด คือ วัด PW ที่ 50% ของขนาดสูงสุดของแรงดันเฉลี่ย ในกรณีช่องว่างของพัลส์ วัดที่ 50% ของแรงดันเฉลี่ย ดังนั้น คาบเวลาของสัญญาณ จะเท่ากับ $PW + SW$ ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 ความกว้างของพัลส์

- ค่าขนาดแรงดันเฉลี่ยของพัลส์ (Average pulse amplitude) คือ ค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากขนาดสูงสุดของพัลส์ขอบหน้า (E_1) และค่าสูงสุดของพัลส์ขอบหลัง (E_2) จากคุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ

สมการค่าขนาดแรงดันเฉลี่ยของพัลส์ ดังสมการ

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad (2.4)$$

- ความลาดเอียง (Tilt) คือ ความลาดเอียง บริเวณสัญญาณสูงสุดของขอบหน้าพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์ เกิดได้ทั้งด้านบวกและลบของสัญญาณ

สมการค่าของความลาดเอียง ดังสมการ

$$Tilt = \frac{E_2 + E_1}{2} \times 100\% = \frac{E_3}{E} \times 100\% \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การคำนวณค่าชั่วขณะ ค่าเฉลี่ย ค่าใช้งาน และ True RMS

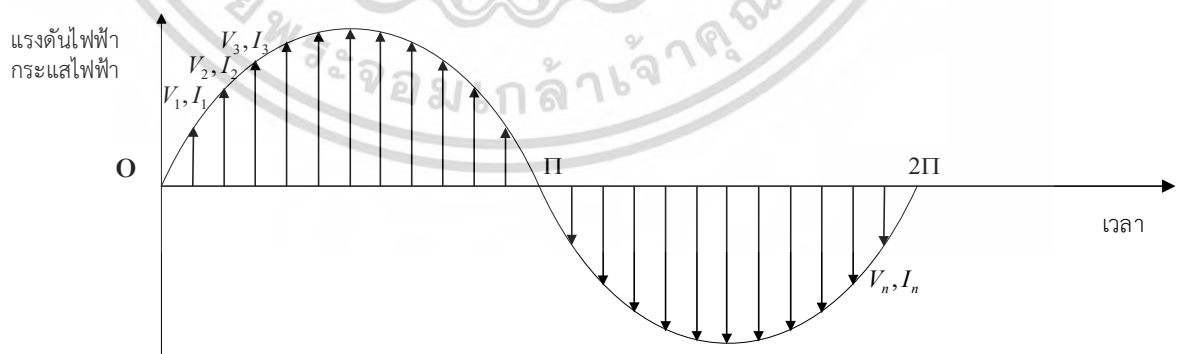
โดยปกติแล้วการคำนวณค่าชั่วขณะ ค่าเฉลี่ย ค่าใช้งานและค่า True RMS คือ การคำนวณสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากมีค่าไม่คงที่ แต่ในงานวิจัยนี้ ได้มีการประยุกต์ให้รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าไม่คงที่ คือ คลื่นรูปพัลส์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับไฟฟ้ากระแสสลับและเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้น จึงมีการนำวิธีการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า สำหรับคลื่นรูปพัลส์

2.2.3.1 ค่าชั่วขณะ (Instantaneous value) คือ ขนาดของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง เมื่อวัดจากระดับอ้างอิงจนถึงจุดยอดของรูปคลื่น จากสมการชั่วขณะของรูปคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 2.9

$$I = I_{MAX} \sin \omega t = I_{MAX} \sin \theta \quad (2.6)$$

$$V = V_{MAX} \sin \omega t = V_{MAX} \sin \theta \quad (2.7)$$

เมื่อ I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (A)
 V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (V)
 I_{MAX} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น (A)
 V_{MAX} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น (V)
 ω คือ ความเร็วเชิงมุมหรือความถี่เชิงมุม มีหน่วยเป็น (rad / s)
 t คือ ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล มีหน่วยเป็น (s)
 θ คือ มุมที่เคลื่อนที่ไป มีหน่วยเป็น (rad)



รูปที่ 2.9 ค่าชั่วขณะของรูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ค่าเฉลี่ย (Average value) คือ ค่าที่เกิดจากการนำเอาค่าชั่วขณะที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆในช่วงความกว้างของพัลส์ ทั้งที่ปรากฏทางด้านบวกและด้านลบรวมกันและหารด้วย คาบเวลาของสัญญาณพัลส์ (T)
สมการค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์ ดังสมการ

$$I_{avg} = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n}{T} \quad \text{มีหน่วยเป็น (A)} \quad (2.8)$$

$$V_{avg} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{T} \quad \text{มีหน่วยเป็น (V)} \quad (2.9)$$

เมื่อ I_{avg} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็น (A)
 V_{avg} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็น (V)
 V_1 คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (V)
 I_1 คือ ค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (A)
 T คือ ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล มีหน่วยเป็น (s)

2.2.3.3 ค่าใช้งานหรือค่าประสิทธิผล (Root mean square value) คือ ค่าไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอหรือคงที่ ที่ไหลผ่านตัวต้านทานในระยะเวลาเดียวกัน โดยปกติแล้ว ค่าใช้งานจริงจะใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจาก ไฟฟ้ากระแสสลับ มีการเปลี่ยนทิศทางการไหล และปริมาณของกระแสไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้าให้ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปพัลส์ ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับไฟฟ้ากระแสสลับและเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้นสำหรับการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจึงต้องใช้วิธีวัดเดียวกับไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะสามารถใช้คำนวณได้เฉพาะคลื่นเพียง คือ สัญญาณไฟฟ้าที่มีลูกคลื่นสัญญาณต่อเนื่อง เช่น รูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นพัลส์

ค่าใช้งานสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$RootMeanSquare = \sqrt{Average^2} \quad (2.10)$$

วิธีการคำนวณค่าใช้งานจริง จะมีสมการการคำนวณที่แตกต่างกันออกไปตามรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{I_{peak}^2 \times t_w}{T}} \quad \text{มีหน่วยเป็น (A)} \quad (2.11)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_{peak}^2 \times t_w}{T}} \quad \text{มีหน่วยเป็น (V)} \quad (2.12)$$

เมื่อ I_{RMS} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานจริง มีหน่วยเป็น (A)

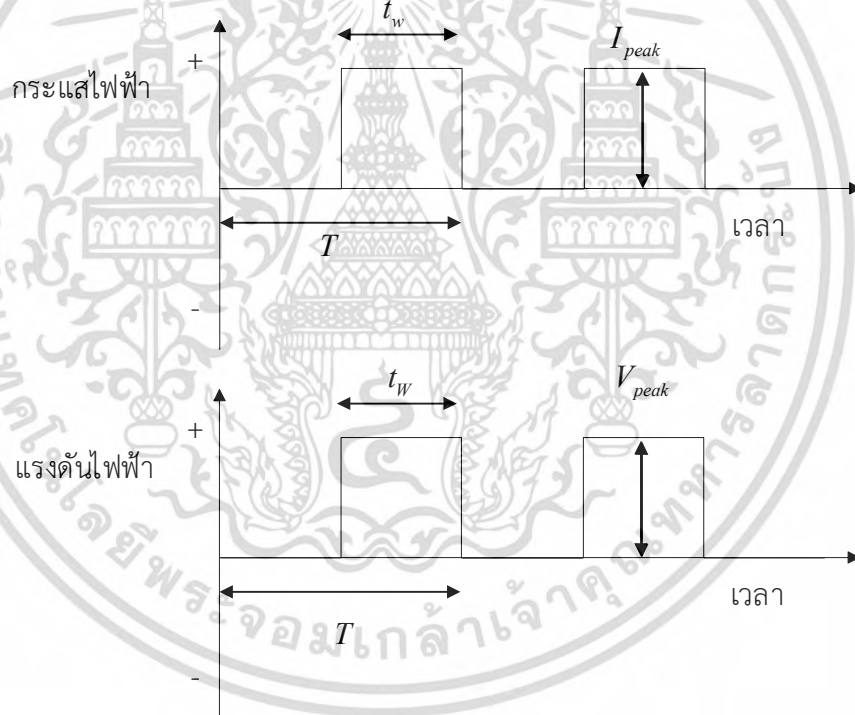
V_{RMS} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานจริง มีหน่วยเป็น (V)

V_{peak} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น (V)

I_{peak} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น (A)

t_w คือ ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็น (s)

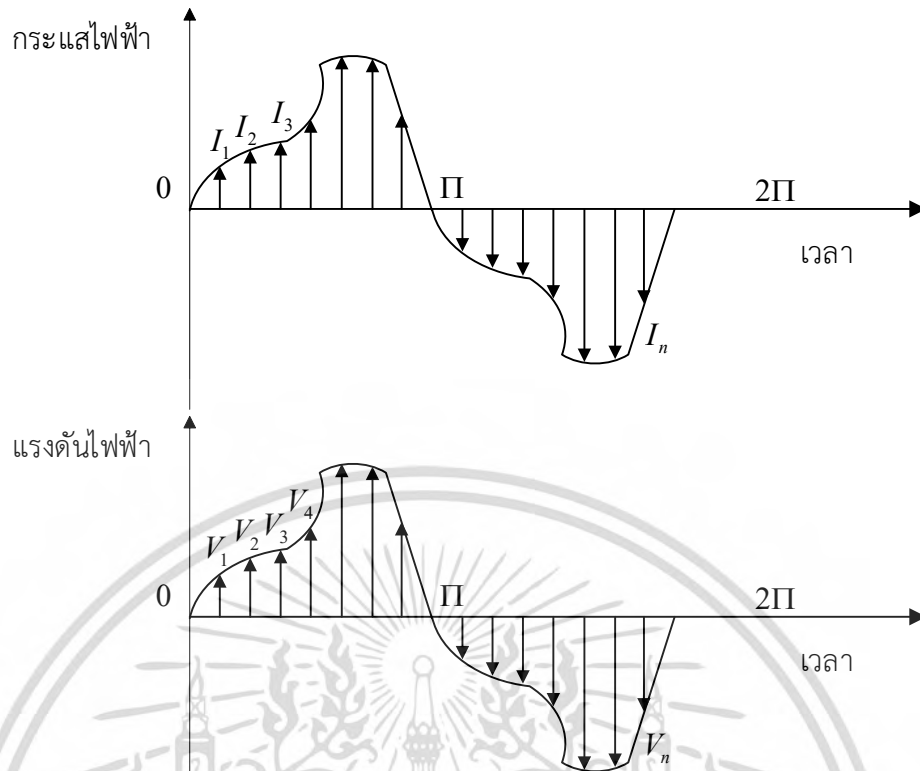
T คือ ระยะเวลาในหนึ่งไซเคิล มีหน่วยเป็น (s)



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

2.2.3.4 True RMS คือ การวัดแบบค่าเฉลี่ยกำลังสอง RMS (Root Mean Square) เหมาะสำหรับงานที่มีโพลต์ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น UPS, Inverter, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.11 การคำนวณจะมีการแบ่งรูปคลื่นเป็นจุดต่างๆ และทำการคำนวณค่าที่แต่ละจุด ทั้งด้านบวกและด้านลบ และหารด้วยจำนวนจุด ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปสัญญาณ Non-Sinusoidal

$$I_{TrueRMS} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}{n}} \quad \text{มีหน่วยเป็น (A)} \quad (2.13)$$

$$V_{TrueRMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}{n}} \quad \text{มีหน่วยเป็น (V)} \quad (2.14)$$

เมื่อ $I_{TrueRMS}$ คือ ค่ากระแส Root Mean Square มีหน่วยเป็น (A)

$V_{TrueRMS}$ คือ ค่าแรงดัน Root Mean Square มีหน่วยเป็น (V)

V_1 คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (V)

I_1 คือ ค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะ มีหน่วยเป็น (A)

n คือ จำนวนส่วนที่ทำการแบ่งส่วน

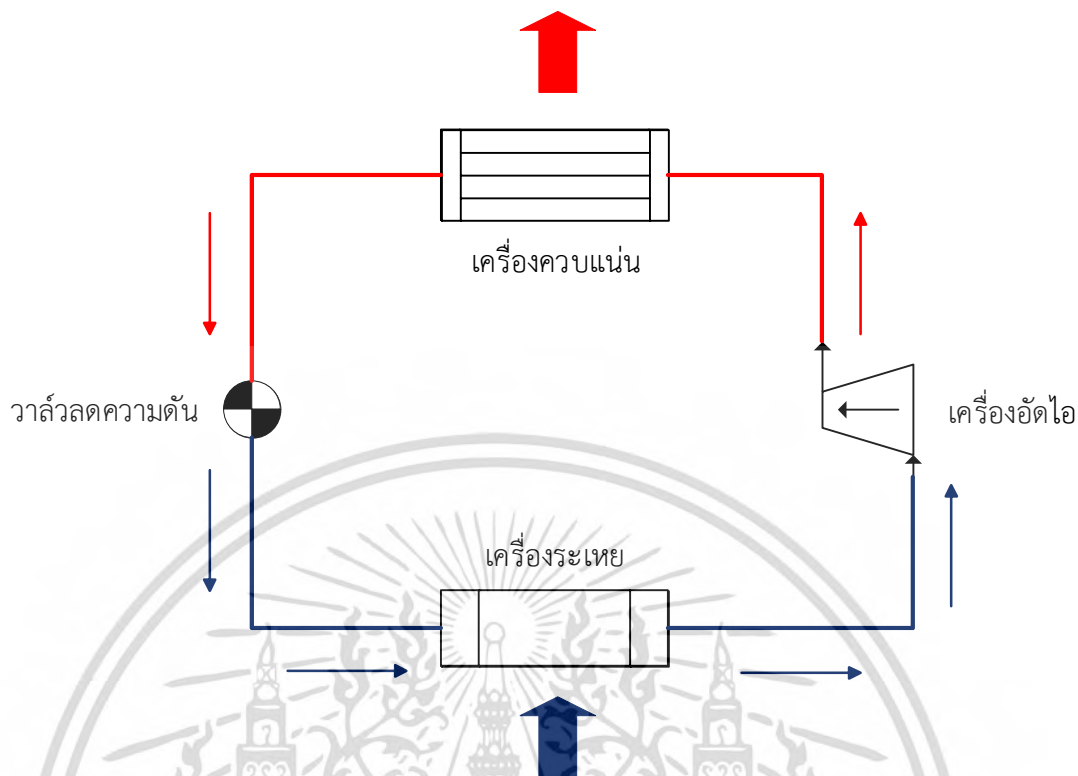
2.3 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นมีความสำคัญอย่างมาก สำหรับทุกบ้านทุกครัวเรือนต้องมีตู้เย็นเพื่อใช้ในการเก็บถนอมอาหารและเครื่องดื่ม ตั้งแต่ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่มนุษย์รู้ว่าสามารถใช้ความเย็นในการเก็บถนอมอาหารได้ ดังนั้น มนุษย์ในยุคนั้นจึงเลือกที่จะเก็บอาหาร เนื้อสัตว์ต่างๆ ที่ทำการล่ามาได้ไว้ในถ้ำซึ่งมีอากาศเย็น นอกจากนี้ยังมีการเก็บน้ำแข็งไว้เพื่อใช้นอกฤดู โดยจะทำการเก็บไว้ในถ้ำหรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงนา แล้วนำฟางหรือขี้เถ้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนคลุมไว้ จนถึงช่วงศตวรรษที่ 19 ที่ยังไม่มีระบบทำความเย็น การใช้น้ำแข็งธรรมชาติในการทำความเย็นจึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และยังมีการทำกันเป็นอุตสาหกรรม ในสมัยก่อนคริสตกาล ชาวอียิปต์สามารถทำน้ำแข็งได้โดยเอาน้ำใส่ไว้ภาชนะดินเผาแล้วนำไปตั้งไว้บนหลังคาช่วงกลางคืนที่มีอากาศแห้งและท้องฟ้าโปร่งและตอนเช้าในภาชนะจะกลายเป็นน้ำแข็ง เป็นเพราะภาชนะดินเผา มีรูพรุนซึ่งทำให้น้ำสามารถระเหยได้ อุณหภูมิจึงลดลง ในคริสตวรรษที่ 16 ยังมีการใช้โซเดียมไนเตรตผสมกับน้ำเพื่อทำให้อุณหภูมิต่ำลง โดยในปีค.ศ. 1834 มีนักประดิษฐ์ชาวอังกฤษ ทำการออกแบบและสร้างระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอที่สามารถทำงานได้เป็นครั้งแรก ใช้ซิลฟิวริกอีเทอร์เป็นสารทำความเย็น แต่ยังไม่มีการนำไปใช้งานจริง จนในปี ค.ศ. 1982 มีการพัฒนาสาร CFC (Chloro Fluoro Carbon) เพื่อนำไปใช้เป็นสารทำความเย็น และใช้ชื่อทางการค้าว่าฟร็อน ซึ่งก่อนที่จะค้นพบฟร็อนสารทำความเย็นที่ใช้จะเป็นอันตราย ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย หรืออาจติดไฟได้ ดังนั้นจะมีเพียงระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ยังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีการใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอกับเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ ที่ถูกใช้ตามโรงงานและศูนย์การค้า เป็นต้น ล้วนเป็นแต่เครื่องทำความเย็นแบบระบบอัดไอทั้งสิ้น โดยจะได้ศึกษาแบบละเอียดต่อไป

2.3.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ คือ การเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นระหว่างของเหลวและแก๊ส ในลักษณะเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาภายในระบบที่มีการอัดไอย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุด เพื่อทำการดูดซับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นเพื่อเอาไปทิ้งที่บริเวณภายนอก โดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นระบบที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน เช่น การทำความเย็นในอุตสาหกรรมต่างๆ ตู้เย็นตามบ้านเรือน เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร หรือเครื่องปรับอากาศภายในรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งระบบนี้มีการใช้พลังงานกลเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ

1. เครื่องระเหย (Evaporator)

เครื่องระเหย มีหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสารทำความเย็นจะดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นภายในระบบ ตรงบริเวณนี้จะเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากของเหลวให้กลายเป็นแก๊ส ทำให้อุณหภูมิโดยรอบเครื่องระเหยนั้นเย็นลง

2. เครื่องอัดไอ (Vapor compressor)

เครื่องอัดไอ ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นแก๊ส โดยดูดแก๊สที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำ ซึ่งมาจากเครื่องระเหย และอัดให้มีอุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้น จนถึงจุดที่แก๊สสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้

3. เครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่น ทำหน้าที่ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากแก๊สกลายเป็นของเหลว ด้วยการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นนั้น และเมื่อระบายความร้อนแผงออกจะกลั่นตัวเป็นของเหลว แต่ยังมีอุณหภูมิและความดันที่ยังสูงอยู่

4. วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

วาล์วลดความดัน ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวที่ผ่านเข้ามา ลดความดันของสารทำความเย็นให้ต่ำลงเพื่อเดินทางไปยังเครื่องระเหยที่มีความดันต่ำกว่า

โดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอยังต้องอาศัยสารที่ทำงานร่วมกันภายในระบบ คือ สารทำความเย็น (Refrigerant) สารทำความเย็นได้มีการพัฒนามาพร้อมๆ กับระบบเครื่องทำความเย็น ซึ่งมีหน้าที่ระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยสารทำความเย็นที่ใช้จะเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ และสามารถควบแน่นเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยจะมีความดันที่ไม่สูงเกินไป เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) แอมโมเนีย (Ammonia, NH₃) โพรเพน (Propane) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารซึ่งพัฒนามาใช้สำหรับระบบทำความเย็นโดยเฉพาะ ดังนั้น สารบางชนิดจึงเป็นสารพิษต่อร่างกาย หรือเป็นสารที่ติดไฟได้ ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากหากเกิดการรั่วไหล จนกระทั่งได้พัฒนาสาร CFC (Chloro Fluoro Carbon) หรือชื่อทางการค้าเรียกว่าฟรียอน (Freon) ซึ่งการค้นพบฟรียอนทำให้การพัฒนาระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นก็พบว่าฟรียอนนั้นยังคงเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีผลต่อการทำลายชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้สารทำความเย็นเหล่านี้จะทำการสะสมในชั้นบรรยากาศและมีลักษณะเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gases) เป็นต้นเหตุให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) โดยจะมีผลนับร้อยปี เนื่องจากใช้เวลานานในการย่อยสลายที่ยาวนาน จึงได้ศึกษาเพื่อหาสารทำความเย็นที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อต่อไป

2.3.2 ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

หลักการของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Refrigeration) คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ระบบนี้ใช้อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวกลางในการทำความเย็น แทนสารทำความเย็น หลักการง่ายๆ ของเทอร์โมอิเล็กทริก คือ ถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น ออกไปถ่ายทิ้งยังบริเวณอากาศภายนอก และทางด้านนอกจะใช้ครีบช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนออกให้กับอากาศโดยรอบ

2.4 เทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ที่สามารถพบได้ในวัสดุของแข็ง มีลักษณะเป็นการคู่ควบกันระหว่างปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและปรากฏการณ์ทางความร้อน โดยผ่านตัวกลางที่มีสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก เรียกว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน คือ เมื่อมีการป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีการถ่ายเทศักย์ไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ เป็นไปตามปรากฏการณ์เพลเทียร์ ในทางกลับกันยังสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน คือ เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัสดุทั้ง 2 ข้าง จะทำให้เกิดกระแสไหลได้ จากการถ่ายเทอุณหภูมิจากตำแหน่งมีอุณหภูมิสูงไปยังตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำอาศัยหลักการสันเสี้ออนของโครงสร้างภายในวัสดุเชิงควอนตัมฟิสิกส์ เป็นไปตามปรากฏการณ์ซีเบค

คำว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” มาจากคำว่า เทอร์โม (thermo) ที่มีความหมายว่า ร้อน และคำว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ (electric) ที่มีความหมายว่าไฟฟ้า ความหมายโดยรวมก็คือ “ความร้อนและไฟฟ้า” ดังนั้นเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นปรากฏการณ์ในการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน และเป็นปรากฏการณ์ที่สามารถย้อนกลับระหว่างความร้อนและไฟฟ้า

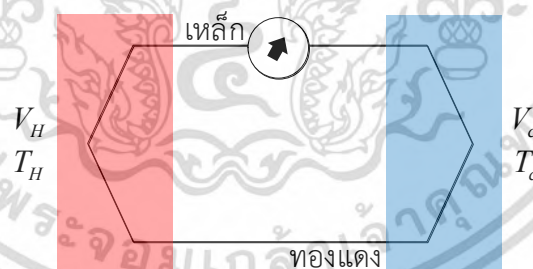
2.4.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ มีการค้นพบขึ้นในศตวรรษที่ 18 เป็นยุคของการพัฒนาทฤษฎีด้านวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็ง การศึกษาฟิสิกส์พื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนในของแข็ง นำไปสู่การค้นพบปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในวัสดุของแข็งเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น จึงมีการแบ่งปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน 2) การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั้ง 2 ปรากฏการณ์นั้น สามารถย้อนกลับหากันได้ ดังนั้นปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นปรากฏการณ์แบบผันกลับได้

2.4.1.1 ฟิสิกส์พื้นฐานของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์แบบผันกลับได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์แบบผันกลับได้ มี 3 ปรากฏการณ์หลัก คือ ปรากฏการณ์ซีเบค ปรากฏการณ์เพลเทียร์ และปรากฏการณ์ทอมสัน

1. ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) จะเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายทั้ง 2 ด้านของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ คือ ปลายด้านหนึ่งร้อนและอีกปลายด้านหนึ่งเย็น ซึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมปลายทั้ง 2 ด้าน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ปรากฏการณ์ซีเบค

ปรากฏการณ์ซีเบคจึงเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและความต่างอุณหภูมิที่ปลายทั้ง 2 ด้านของวัสดุ โดยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิโดยความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวัสดุทำให้ประจุไฟฟ้าที่อยู่ปลายด้านร้อนมีพลังงานจลน์มากกว่าประจุไฟฟ้าที่อยู่ปลายด้านเย็น จึงทำให้เกิดการแพร่ไปกองอยู่ที่ปลายด้านเย็น ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดปลายทั้งสองด้าน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีเครื่องหมายตามชนิดของประจุไฟฟ้าในวัสดุ โดยศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีศักย์เป็นลบเมื่อประจุไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นอิเล็กตรอน

เช่น วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อประจุไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นโฮล เช่น วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดพี

เมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแทนด้วยสัญลักษณ์ ΔV มีหน่วยเป็น V โดย $\Delta V = V_H - V_C$ เมื่อสัญลักษณ์ V_H แทนศักย์ไฟฟ้าอุณหภูมิร้อน และสัญลักษณ์ V_C แทนศักย์ไฟฟ้าด้านเย็น สำหรับอุณหภูมิด้านร้อนถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ T_H และอุณหภูมิด้านเย็นถูกแทนด้วย T_C ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิแทนด้วย $T_H - T_C$ โดยปริมาณอุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) หรือเคลวิน (K)

สมการปรากฏการณ์ซีเบคสามารถเขียนได้เป็น

$$\Delta V = -S\Delta T \quad \text{มีหน่วยเป็น } V \quad (2.15)$$

เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck Coefficient) หน่วยเป็นโวลต์ต่อเคลวิน (V/K) หรือโวลต์ต่อองศาเซลเซียส ($V/^{\circ}C$)

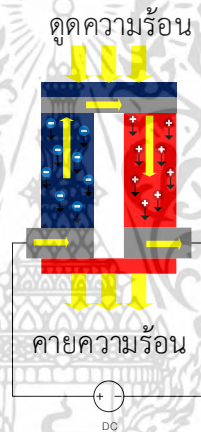
2. ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) เป็นปรากฏการณ์ย้อนกลับของปรากฏการณ์ซีเบค ปรากฏการณ์เพลเทียร์นั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิหรือเรียกว่าอัตราการสร้างความร้อนหรืออัตราการสร้างความเย็นต่อหนึ่งวินาทีเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วัสดุ กล่าวคือ พาหะนำไฟฟ้าอิเล็กตรอนหรือโฮลในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกความร้อนจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุทำให้เกิดการดึงความร้อนจากสิ่งแวดล้อมออกไปทำให้วัสดุเย็นลง และสิ่งแวดล้อมด้านของวัสดุที่ถูกนำความร้อนไปทิ้งร้อนขึ้น ดังรูปที่ 2.14

ปรากฏการณ์เพลเทียร์จึงเป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และปริมาณความร้อนในวัสดุ และเมื่อกำหนดให้ I_E เป็นสัญลักษณ์แทน กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็นแอมแปร์ (A) หรือหน่วยคูลอมบ์ต่อวินาที (C/s) และให้ \dot{Q} เป็นสัญลักษณ์แทนอัตราการสร้างความร้อนมีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือจูลต่อวินาที (J/s) เครื่องหมาย (\bullet) บน Q แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ Q เทียบกับเวลา ($\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$) เมื่อ Q แทน ความร้อน ซึ่งเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นแคลอรี (cal) หรือ (J) ดังนั้น \dot{Q} คือ อัตราความร้อน (Heat Rate) หรือกำลังความร้อน (Heat power) สรุปได้ว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ เป็นปรากฏการณ์ที่สร้างความร้อน \dot{Q} เกิดขึ้นในหน่วยเวลา ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า I_E สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\dot{Q}^{Peltier} = \Pi I_E \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W) \quad (2.16)$$

เมื่อ Π คือ สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ (Peltier Coefficient) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อแอมแปร์ (W/A) หรือโวลต์ (V) ในทำนองเดียวกับสัมประสิทธิ์ซีเบค ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ (Π) มีค่าเป็นบวกและลบในวัสดุชนิดพี และชนิดเอ็น ตามลำดับ และเรียกความร้อนที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ ว่าความร้อนเพลเทียร์ (peltier heat : $Q^{(Peltier)}$) เมื่อสัญลักษณ์ $Q^{(Peltier)}$ แทนความร้อนเพลเทียร์ หน่วยเป็นจูล (J) และเรียกอัตราการความร้อนเพลเทียร์ (peltier heat rate) ($\dot{Q}^{(Peltier)}$) ใช้สัญลักษณ์ $\dot{Q}^{(Peltier)}$ หน่วยเป็น W หรือ J/s ความร้อนที่ถูกสร้างที่รอยต่อเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ (Peltier coefficient) โดยสัมประสิทธิ์เพลเทียร์สำหรับวัสดุเฉพาะแต่ละชนิด

$$\Pi = \frac{\dot{Q}^{(Peltier)}}{I_E} \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/A) \quad (2.17)$$

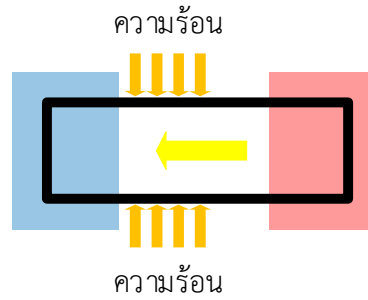


รูปที่ 2.14 ปรากฏการณ์เพลเทียร์

3. ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) ในปี ค.ศ. 1851 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) ค้นพบหลังจากการค้นพบของเพลเทียร์เป็นเวลา 20 ปี ทอมสันได้ใช้ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ซีเบคและเพลเทียร์ ทำให้ค้นพบปรากฏการณ์ที่ 3 โดยพบว่า ความร้อนมีการดูดหรือคายในวัสดุเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวัสดุในขณะที่วัสดุมีการกระจายตัวของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมออยู่ (เรียกว่า เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ) ซึ่งความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าและเกรเดียนต์อุณหภูมิในวัสดุ โดยเรียกค่าสัดส่วนคงที่นี้ว่า สัมประสิทธิ์ทอมสัน (Thomson coefficient) เรียกการค้นพบนี้ว่าปรากฏการณ์ทอมสัน ดังรูปที่ 2.15

$$\tau = \frac{\dot{Q}^{(Thomson)}}{I_E \Delta T} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ปรากฏการณ์ทอมสัน

กำหนดให้ τ คือ สัมประสิทธิ์ของทอมสัน (Thomson coefficient)

ความสัมพันธ์ของเคลวิน

จากปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่าง 3 ปรากฏการณ์ และการผันกลับของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ทอมสันใช้กฎข้อที่ 1 และ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ สร้างสมการแสดงความเชื่อมโยงระหว่าง 3 ปรากฏการณ์ เรียกความสัมพันธ์ว่า ความสัมพันธ์เคลวิน ซึ่งมีการค้นพบอยู่ 2 ข้อดังนี้

ความสัมพันธ์เคลวินข้อที่ 1

แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ซีเบคและสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\Pi = TS \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/A) \quad (2.19)$$

ความสัมพันธ์เคลวินข้อที่ 2

แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอมสันและสัมประสิทธิ์เพลเทียร์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau = T \frac{dS}{dT} \quad \text{มีหน่วยเป็น } (V/A) \quad (2.20)$$

และเมื่อรวมสมการของปรากฏการณ์เพลเทียร์เข้ากับความสัมพันธ์เคลวินข้อที่ 1 จะได้ความสัมพันธ์

$$\dot{Q}^{Peltier} = STI_E \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W) \quad (2.21)$$

จากสมการ 2.22 หมายความว่าความร้อนสามารถถูกสร้างได้จากปรากฏการณ์ซีเบค สมการนี้ถือเป็นสมการเทอร์โมอิเล็กทริกที่สำคัญเพราะบ่งบอกถึงการย้อนกลับได้ระหว่างพลังงานความร้อนกับกระแสไฟฟ้า ในปรากฏการณ์เพลเทียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 ฟิสิกส์พื้นฐานของการนำไฟฟ้าและการนำความร้อน

ปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์คู่ควบระหว่างพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในตัวกลางวัสดุของแข็ง ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการไหลของกระแสไฟฟ้าและการไหลของความร้อน รวมถึงกฎพื้นฐานสำหรับการนำไฟฟ้า ได้แก่กฎของโอห์ม และกฎพื้นฐานสำหรับการนำความร้อน ได้แก่กฎของฟูเรียร์ มีรายละเอียดดังนี้

1. การนำไฟฟ้าและกฎของโอห์ม

กระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าสุทธิที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีสัญลักษณ์แทนด้วย I_E และเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$I_E = \frac{q_E}{t} \quad \text{มีหน่วยเป็น (A)} \quad (2.22)$$

เมื่อ q_E คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าสุทธิ มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)

t คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

กระแสไฟฟ้าจากอนุภาคจำนวน n ตัว แต่ละตัวมีประจุไฟฟ้า e และอัตราเร็วเฉลี่ย v บนพื้นที่หน้าตัด A ได้สมการเป็น

$$I_E = nevA \quad (2.23)$$

กระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดมีชื่อเรียกว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า มีสมการเป็น

$$J_E = I_E / A = nev \quad \text{มีหน่วยเป็น (A/m}^2\text{)} \quad (2.24)$$

เมื่อ J_E คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (A/m²) และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของปริมาณเวกเตอร์ คือ

$$\vec{J}_E = nev \quad (2.25)$$

กฎของโอห์ม

กฎของโอห์มเป็นปรากฏการณ์พื้นฐานที่เมื่อมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างทั้ง 2 ข้างของตัวนำ แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ ซึ่งความต่างศักย์จะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าตามกฎของโอห์มจึงเป็นแบบเชิงเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของการแปรผันแสดงความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำกฎของโอห์มสามารถเขียนได้เป็น

$$\Delta V_{Ohm} = RI_E \quad \text{มีหน่วยเป็น (V)} \quad (2.26)$$

เมื่อ ΔV_{Ohm} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามกฎของโอห์ม มีหน่วยเป็น (V)

I_E คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (A)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (Ω)

กฎของโอห์มยังสามารถเขียนในรูปความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

$$\vec{J}_E^{(Ohm)} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad \text{มีหน่วยเป็น (A/m}^2\text{)} \quad (2.27)$$

เมื่อ $\vec{J}_E^{(Ohm)}$ คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม มีหน่วยเป็น (A/m^2)

$\vec{\nabla}V$ คือ เกรเดียนต์ของศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (V/m)

σ คือ ค่าสภาพนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (S/m)

2. การนำความร้อนและกฎของฟูเรียร์

ความร้อน (Q) คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งที่ถ่ายเท เคลื่อนย้าย ขนส่ง หรือไหล ได้จากอิทธิพลของความแตกต่างอุณหภูมิ ซึ่งความร้อนมีหน่วยเป็นแคลอรี (cal) หรือ จูล (J) ความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = \rho_m V_m C_p \Delta T \quad (2.28)$$

เมื่อ ρ_m คือ ความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น (g/cm^3)

V_m คือ ปริมาตรของวัสดุ มีหน่วยเป็น (cm^3)

C_p คือ ความจุความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น ($cal/g-C$)

ปกติสัญลักษณ์ Q แทนปริมาณความร้อน แต่ $\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$ แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน

(Heat transfer rate) ซึ่งหมายถึง อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat change rate) บางครั้งอาจเรียกว่า อัตราความร้อน (Heat rate) หรือการไหลความร้อน (Heat flow) หรือแทนกำลังความร้อน (heat power) โดยมีหน่วย คือ วัตต์ (W) หรือ (J/s) บางครั้ง \dot{Q} ยังถูกเรียกว่ากระแสความร้อน ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น I_Q

ปริมาณที่สำคัญอีกอันหนึ่ง คือ ฟลักซ์ความร้อน (Heat rate flux) แทนด้วย \dot{q} โดยถูกนิยามให้เป็นอัตราความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดตามสมการดังนี้

$$\dot{q} = \frac{1}{A} \dot{Q} = \frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/m^2) \quad (2.29)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัด \dot{q} จึง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
และบางครั้ง \dot{q} ยังถูกเรียกว่าความหนาแน่นกระแสความร้อน ซึ่งถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ด้วย J_Q

$$J_Q = \dot{q} \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/m^2) \quad (2.30)$$

กฎของฟูเรียร์

กฎของฟูเรียร์ เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานที่อธิบายการเกิดความหนาแน่นกระแสความร้อนในวัสดุเมื่อมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ กฎของฟูเรียร์สามารถอธิบายเป็นสมการได้ว่า

$$\overline{J_Q^{(Fourier)}} = -k \overline{\nabla T} \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/m^2) \quad (2.31)$$

เมื่อ $\overline{J_Q^{(Fourier)}}$ คือ ความหนาแน่นกระแสความร้อนฟูเรียร์ มีหน่วยเป็น (W/m^2)

$\overline{\nabla T}$ คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น (K/m)

k คือ ค่าสภาพนำความร้อน มีหน่วยเป็น (W/mK)

2.4.1.3 ปรากฏการณ์เชื่อมโยงระหว่างไฟฟ้าและความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

ที่ผ่านมาปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่สามารถย้อนกลับได้ แต่ยังมีปรากฏการณ์การสร้างความร้อนที่ถูกผลิตขึ้นมาได้จากพลังงานไฟฟ้าแล้วไม่สามารถย้อนกลับได้เป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นเดิม เช่น ปรากฏการณ์ของจูล ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผันพลังงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกลดลง

ปรากฏการณ์ของจูล เป็นปรากฏการณ์เชื่อมโยงระหว่างไฟฟ้าและความร้อนแบบย้อนกลับไม่ได้ ถูกค้นพบโดยจูล พบว่ามีความร้อนเกิดขึ้นจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุ อัตราความร้อนแบบนี้เรียกว่า อัตราความร้อนของจูล $\dot{Q}^{(Joule)}$ สมการอัตราการสร้างความร้อน ที่เป็นไปตามปรากฏการณ์ของจูล คือ

$$\dot{Q}^{(Joule)} = RI_E^2 \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W) \quad (2.32)$$

เมื่อ $\dot{Q}^{(Joule)}$ คือ อัตราความร้อนจูล มีหน่วยเป็น (W)

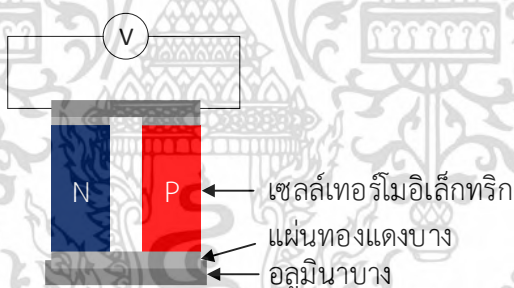
R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ มีหน่วยเป็น (Ω)

I_E คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (A)

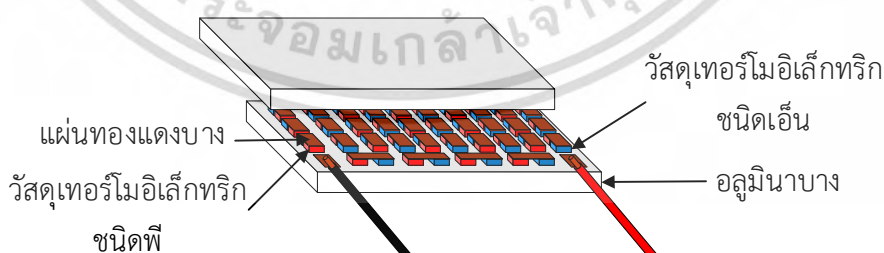
2.4.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาประกอบเป็นอุปกรณ์ ซึ่งสามารถแสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้ คือ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าและกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมา มีลักษณะเป็นโมดูล สามารถเรียกได้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module) โดยโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นสารกึ่งตัวนำ 1 ตัว ประกอบด้วยเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก 2 เซลล์ เป็นเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N-type) และเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-type) อย่างละ 1 เซลล์ มาต่อกันเป็นคู่ๆ วางสลับกัน เชื่อมต่อเซลล์แต่ละเซลล์ด้วยโลหะตัวนำขนาดเล็ก เช่น แผ่นทองแดงบาง (Copper plate) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านเซลล์ได้ ดังรูปที่ 2.16 โดยแต่ละคู่จะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกจนตัวสุดท้าย แล้วประกบด้านบนกับล่างของชุดเซลล์ด้วยฉนวนไฟฟ้าที่มีความสามารถในการนำความร้อนได้ดี เช่น อลูมินาบาง หรือแผ่นบางเพื่อให้ความร้อนสามารถไหลผ่านได้ดี และช่วยเป็นฉนวนทางไฟฟ้าป้องกันการลัดวงจรระหว่างคู่ที่เอ็น ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 2.17 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ด้าน คือ

1. ด้านเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า

เป็นด้านของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนความแตกต่างของอุณหภูมิในตัวอุปกรณ์ที่ได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนต่างๆ แล้วสามารถเกิดเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ หรือมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า สามารถเรียกได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric power generator : TEG) ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้จากแหล่งความร้อนต่างๆ เช่น แสงแดด น้ำร้อน ความร้อนจากท่อไอเสีย เป็นต้น

2. ด้านเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

เป็นด้านของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน และก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่แต่ละฝั่งของตัวอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น ตัวทำความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric heater : TEH) และตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Cooler : TEC)

- ตัวทำความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก (TEH) เป็นการใช้ประโยชน์จากฝั่งร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากกระแสไฟฟ้าภายนอกทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากการที่พาหะนำไฟฟ้านำความร้อนจากฝั่งเย็นมาทิ้งไว้ที่ฝั่งร้อน ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนที่ถูกนำมาทิ้ง เป็นการทำงานที่ปราศจากเสียงรบกวน เหมาะกับการทำความร้อนในพื้นที่ที่ต้องการความเงียบสงบ

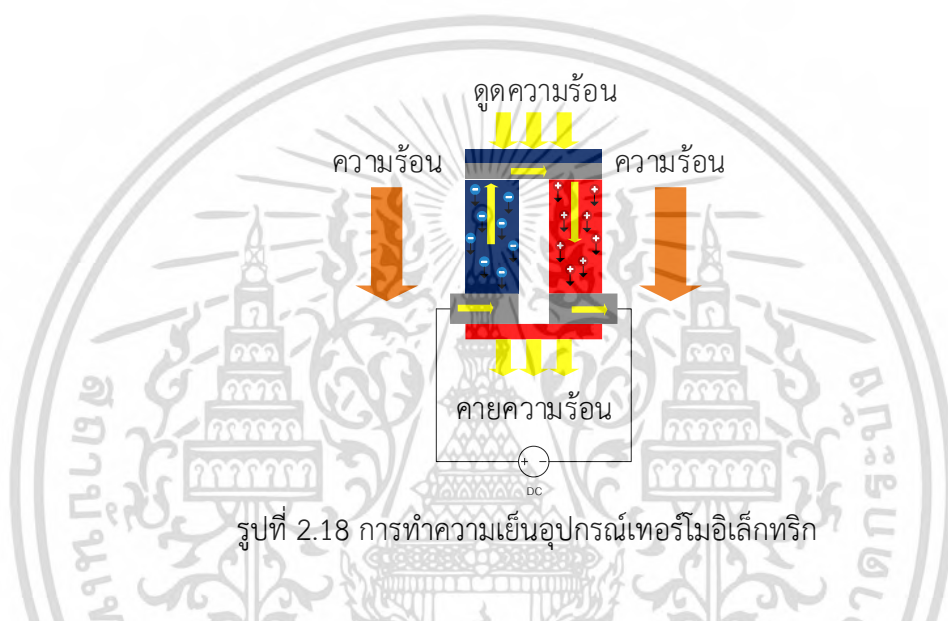
- ตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC) เป็นการใช้ประโยชน์จากฝั่งเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากกระแสไฟฟ้าภายนอกทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเย็นที่เกิดขึ้นมาจากพาหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะทำหน้าที่ปั๊มเอาความร้อนจากฝั่งเย็นแล้วไปทิ้งไว้ที่ฝั่งร้อน ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากฝั่งเย็นได้ อุปกรณ์นี้ไม่มีชิ้นส่วนเชิงกลที่เคลื่อนที่ ทำให้การทำงานของตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกปราศจากเสียงรบกวน จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการทำความเย็นด้านต่างๆ

2.4.3 การทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็น

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็นหรือเพลเทียร์ หลักการทำงานเป็นไปตามปรากฏการณ์เพลเทียร์ คือ เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งไฟฟ้าภายนอกให้กับ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งตามปรากฏการณ์เพลเทียร์นั้น จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้า จากความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง ไปยังความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สิ่งที่สำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก คือการบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า เพื่อขนความร้อนจากด้านที่ต้องการใช้ประโยชน์ไปทิ้งยังด้านร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก หากมีการ

ป้อนศักย์ไฟฟ้าบวก (V+) เข้าไปที่ขั้ว N กระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N-type) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากด้านล่างขึ้นไปด้านบน โดยพาหะส่วนใหญ่ที่อยู่ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น นั่นก็คือ อิเล็กตรอน พฤติกรรมปกติของอิเล็กตรอนจะวิ่งสวนทางกระแสไฟฟ้าจากด้านบนลงด้านล่าง และขนความร้อนจากด้านบนลงไปที่ด้านล่าง ทำให้กระแสความร้อนมีทิศทางจากบนลงล่าง วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N-type) และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-type) เชื่อมต่อเซลล์แต่ละเซลล์ด้วยโลหะตัวนำขนาดเล็ก ดังนั้นจึงทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-type) กระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-type) จากด้านบนลงด้านล่าง โดยพาหะส่วนใหญ่ที่อยู่ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี นั่นก็คือ โฮล ซึ่งจะวิ่งทิศเดียวกับกระแสไฟฟ้า และขนความร้อนจากด้านบนลงไปที่ด้านล่าง ทำให้กระแสความร้อนมีทิศทางจากบนลงล่าง ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 การทำความเย็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบไปด้วยเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและเอ็นมาประกอบเป็นตัวอุปกรณ์ โดยเชื่อมต่อผ่านวัสดุที่เป็นแผ่นโลหะเพื่อให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลได้แบบอนุกรม อีกทั้งยังมีฉนวนไฟฟ้าซึ่งสามารถนำความร้อนได้ประกอบที่ด้านบนและด้านล่างเพื่อให้ความร้อนสามารถไหลผ่านได้แบบขนาน

อุปกรณ์สามารถดูดความร้อนจากด้านเย็นและเอาความร้อนส่วนนั้นไปที่ด้านร้อน ทำให้เกิดอุณหภูมิที่ต่ำลงที่ด้านหนึ่งของอุปกรณ์ (T_C) และเกิดอุณหภูมิที่สูง (T_H) อีกด้านหนึ่งของอุปกรณ์ จึงต้องมีการให้ศักย์ไฟฟ้าภายนอกที่เป็นบวกที่เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น และมีการให้ศักย์ไฟฟ้าภายนอกลบที่เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี เพื่อเป็นการบังคับให้ประจุไฟฟ้าลบ และประจุไฟฟ้าบวก ไหลจากศักย์ไฟฟ้าบวก ไปยังศักย์ไฟฟ้าลบ ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น และเกิดการขนความร้อนจากด้านหนึ่งเพื่อเอาไปที่อีกด้านหนึ่งของอุปกรณ์

สำหรับอัตราการความร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{in}) ด้านที่อุณหภูมิต่ำ (T_C) และมีอัตราการความร้อนที่ไหลออกจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{out}) ด้านที่อุณหภูมิสูง (T_H)

สามารถแสดงสมการสมดุลความร้อนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบครวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบคู่ควบพีเอ็น

$$S = |S_p| + |S_n| \quad \text{มีหน่วยเป็น } (V/K) \quad (2.33)$$

เมื่อ S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบครวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (V/K)
 S_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี มีหน่วยเป็น (V/K)
 S_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น มีหน่วยเป็น (V/K)

ค่าการนำความร้อนรวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบคู่ควบพีเอ็น

$$K = (K_p + K_n) = \left(\frac{\kappa_p A_p}{L_p} + \frac{\kappa_n A_n}{L_n} \right) \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W/mK) \quad (2.34)$$

เมื่อ K คือ ค่าการนำความร้อนรวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (W/mK)
 K_p คือ ค่าการนำความร้อนของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี มีหน่วยเป็น (W/mK) K_n
คือ ค่าการนำความร้อนของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น มีหน่วยเป็น (W/mK)

ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบคู่ควบพีเอ็น

$$R = (R_p + R_n) = \left(\frac{\rho_p L_p}{A_p} + \frac{\rho_n L_n}{A_n} \right) \quad \text{มีหน่วยเป็น } (\Omega) \quad (2.35)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (Ω)
 R_p คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี มีหน่วยเป็น (Ω)
 R_n คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น มีหน่วยเป็น (Ω)
สมการสมดุลอัตราความร้อนไหลเข้าด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) เป็น

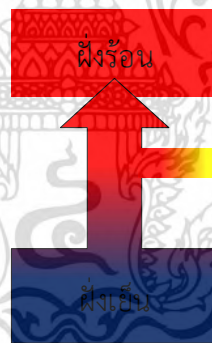
$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_C = ST_C I_E - K(\Delta T) - \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{มีหน่วยเป็น } (W) \quad (2.36)$$

สมการสมดุลอัตราความร้อนไหลออกจากด้านที่มีอุณหภูมิสูง (\dot{Q}_H) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_{Out} = \dot{Q}_H = ST_H I_E - K(\Delta T) + \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{มีหน่วยเป็น (W)} \quad (2.37)$$

- เมื่อ \dot{Q}_{In} คือ อัตราความร้อนไหลเข้าด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ มีหน่วยเป็น (W)
 \dot{Q}_{Out} คือ อัตราความร้อนไหลออกจากด้านที่มีอุณหภูมิสูง มีหน่วยเป็น (W)
 S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบครวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (V / K)
 K คือ ค่าการนำความร้อนรวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (W / m-k)
 R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีหน่วยเป็น (Ω)
 I_E คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (A)
 T_H คือ อุณหภูมิด้านร้อน มีหน่วยเป็น (K)
 T_C คือ อุณหภูมิด้านเย็น มีหน่วยเป็น (K)
 ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิแทนด้วย มีหน่วยเป็น (K)
 ประสิทธิภาพในการทำมาความเย็น (Coefficient of Performance)
 ประสิทธิภาพในการทำมาความเย็น คือ พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Q_C) หรือพลังงานความเย็นที่ได้จากระบบ ส่วนด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบทำมาความเย็น ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ระบบทำมาความเย็น

กำลังไฟฟ้าที่ถูกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้ไป (P_{com}) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{com} = \dot{Q}_{Out} - \dot{Q}_{In} = SI_E(T_H - T_C) + RI_E^2 = IV \quad \text{มีหน่วยเป็น (W)} \quad (2.38)$$

ค่าประสิทธิภาพ (COP) สามารถหาได้จากสมการ

$$COP = \frac{\dot{Q}_{In}}{P_{com}} = \frac{\dot{Q}_c}{IV} = \frac{ST_C I_E - K(\Delta T) - \frac{1}{2} I_E^2 R}{SI_E(T_H - T_C) + RI_E^2} \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 MATLAB Simulink

MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory ออกแบบเพื่อใช้ในการคำนวณด้านวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ ที่มีความสามารถด้านการประมวลผลและประสิทธิภาพสูง ได้รวมฟังก์ชันคำสั่งในการคำนวณระดับพื้นฐานจนถึงระดับขั้นสูงทางวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ไว้มากมาย MATLAB เป็นภาษาระดับสูงภาษาหนึ่ง เริ่มต้นพัฒนาขึ้นมาด้วย Fortran เพื่อใช้สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข และแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับเมทริกซ์และอาร์เรย์ พีชคณิตสมการเชิงเส้น สถิติ การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น รวมถึงเพื่อแก้ปัญหา การประมวลผล หรือคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้หลายด้าน เช่น ระบบควบคุม การวัดและควบคุม การสื่อสาร การประมวลผลสัญญาณ การประมวลผลภาพและวิดีโอ เป็นต้น

คุณลักษณะพิเศษของแมทแลป

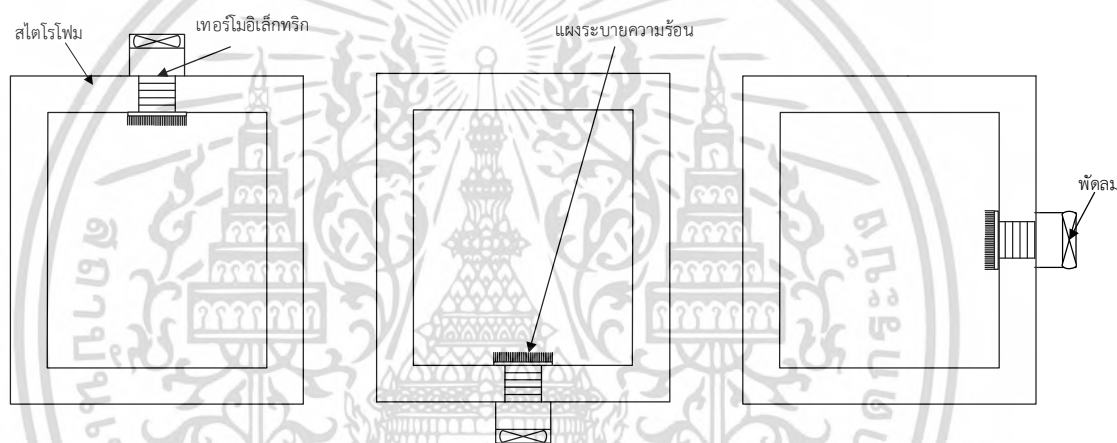
1. ใช้งานง่าย
2. พัฒนาให้รองรับระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย
3. มีฟังก์ชันพิเศษ
4. มีรูปแบบการแสดงผลข้อมูลที่น่าสนใจ
5. มีส่วนประสานกับผู้ใช้งานกราฟฟิก

MATLAB Simulink เป็นโปรแกรมมิ่งแบบกราฟฟิก ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง การจำลองการทำงานของระบบ การวิเคราะห์ระบบของระบบฝังตัวแบบไดนามิกส์ และระบบพลวัตหลายโดเมน ออกแบบพัฒนาโดย “Mathworks”

ลักษณะการโปรแกรมมิ่งนั้น ฟังก์ชันและคำสั่งจะบล็อกไดอะแกรมหรือรูปกราฟฟิก ได้ถูกรวบรวมไว้เป็นไลบรารีต่างๆ มีเหมือนกันกับฟังก์ชันและคำสั่งของ MATLAB Desktop ที่ครอบคลุมทั้งวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ Control system Signal Processing และ Image Processing เป็นต้น

MATLAB Simulink ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการจำลองระบบพลวัต โดยใช้ บล็อกเซต ที่เป็นไดอะแกรมหรือรูปภาพ เป็นการโปรแกรมมิ่งด้วยภาษากราฟฟิก กล่าวคือ บล็อกเซตเปรียบเสมือนคำสั่งหรือฟังก์ชัน ที่กำหนดการทำงานให้ประมวลผลอย่างไร บล็อกเซตแต่ละบล็อกเซต ประกอบด้วย อินพุต ประมวลผล และเอาท์พุต มีไว้สำหรับเชื่อมต่อกับบล็อกเซตอื่นๆ โดยมีเส้นเชื่อมต่อ ทำหน้าที่เชื่อมสัญญาณและข้อมูลเข้าด้วยกัน โดยสามารถรันโครงข่ายให้ทำงานเพื่อหาคำตอบหรือประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้

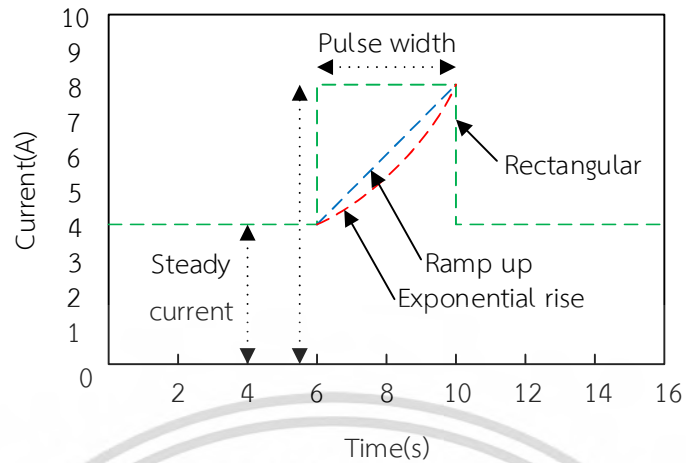
M. Mirmanto , S. Syahrul, Yusi Wirdan (2019) [17] ศึกษาตำแหน่งการติดตั้งระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกบนกล่องทำความเย็นในตำแหน่งต่างๆ ระบบทำความเย็นประกอบไปด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหรือเพลเทียร์รุ่น TEC1-12706 ตัวระบายความร้อนภายนอก ตัวระบายความร้อนภายใน ขวดน้ำขนาด 360 มิลลิตร ตำแหน่งการติดตั้งระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะอยู่ที่ด้านบน ด้านล่างและที่ผนังของกล่องทำความเย็น ดังรูปที่ 21 โดยมีขนาดภายในของกล่องทำความเย็น 215 มิลลิเมตร 175 มิลลิเมตร 130 มิลลิเมตร ความหนาของผนังกล่องอยู่ที่ 50 มิลลิเมตร ทำการทดลองเป็นเวลาประมาณ 18,000 วินาที กำลังที่ใช้ 38.08 วัตต์ ผลการศึกษาพบว่า COP ลดลงตามเวลา และตำแหน่งที่ดีที่สุดของการจัดตำแหน่งเทอร์โมอิเล็กทริกของการศึกษานี้คือบนผนังของกล่องทำความเย็น



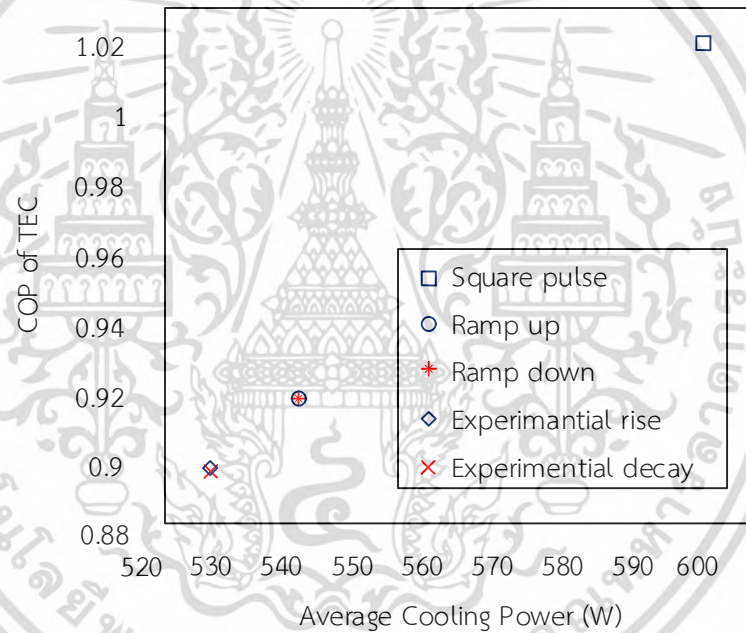
รูปที่ 21 ตำแหน่งการติดตั้งระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

S. Manikandan, S.C. Kaushik, Ronggui Yang (2017) [21] ศึกษาการปรับปรุงรูปสัญญาณของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็นพื้นที่ในอาคาร รูปสัญญาณแบบปกติของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก มีพัลส์กระแสไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า แต่สำหรับการปรับปรุงรูปสัญญาณจะมีการให้สมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีการเปลี่ยนอัตราส่วนพัลส์กระแสไฟฟ้า โหลดการทำความเย็น ความกว้างของพัลส์กระแสไฟฟ้า และการเปลี่ยนรูปร่างรูปสัญญาณพัลส์กระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 22 พบว่าสำหรับการปรับปรุงรูปสัญญาณ ระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถให้พลังงานความเย็นเฉลี่ย 600 W และ COP 1.01 ซึ่งสูงกว่ารูปสัญญาณแบบปกติของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกถึง 23.3% และ 2.12% ตามลำดับ การศึกษานี้ยังพบว่าพัลส์กระแสไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมสามารถให้พลังงานความเย็นเฉลี่ยและ COP ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแรมป์และเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังรูปที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 รูปร่างพัลส์กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทำความเย็นเฉลี่ย และประสิทธิภาพการทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ผ่านโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2020b MATLAB license: 40904942 โดยใช้งานด้านโปรแกรมมิ่งกราฟิก MATLAB Simulink ซึ่งมีการจำลองการทำงานของระบบ โดยที่ฟังก์ชันและคำสั่งจะเป็นบล็อกไดอะแกรมหรือรูปภาพ [29] ดังนั้นในเบื้องต้นนั้นต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร และศึกษาถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้สำหรับการจำลองระบบทำความเย็นเพื่อการจำลองระบบต่างๆ งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 2 อุปกรณ์สำหรับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 3 การจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

3.1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก



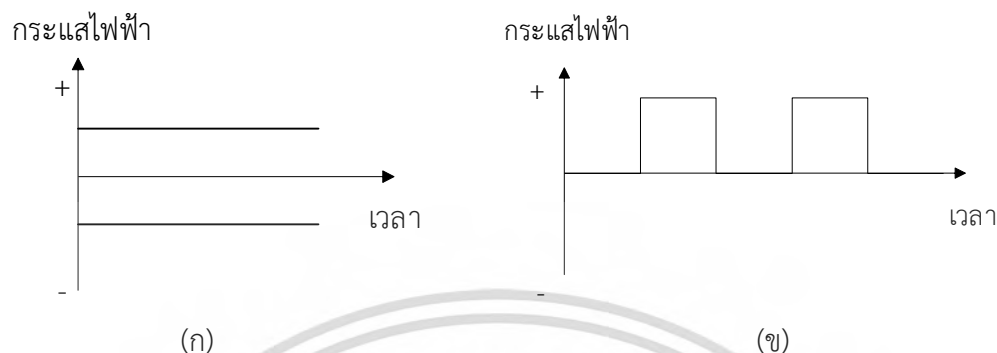
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์

หลักการการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่เป็นแหล่งไฟฟ้าจากภายนอก ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อขนย้ายความร้อนจากด้านหนึ่งไปทิ้งที่ด้านหนึ่งของอุปกรณ์เกิดเป็นด้านร้อน และเกิดความเย็นขึ้นที่อีกด้านหนึ่งเป็นด้านเย็น โดยที่ด้านร้อนจะติดอยู่แผงระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนออกจากระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

3.1.1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ไฟฟ้ากระแสตรง คือ กระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเป็นไปในทิศเดียว โดยที่มีค่าเป็นบวกหรือลบ ซึ่งถ้าเป็นค่าบวกก็จะเป็นค่าบวกเสมอ แต่ถ้าเป็นค่าลบก็จะเป็นค่าลบเสมอ ดังรูปที่ 3.2 (ก) เป็นสัญลักษณ์ปกติที่ใช้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทั่วไป สำหรับงานวิจัยใช้

สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณเป็นขั้นบันได โดยที่สัญญาณไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังรูปที่ 3.2 (ข)



รูปที่ 3.2 ไฟฟ้ากระแสตรง

(ก) ไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น

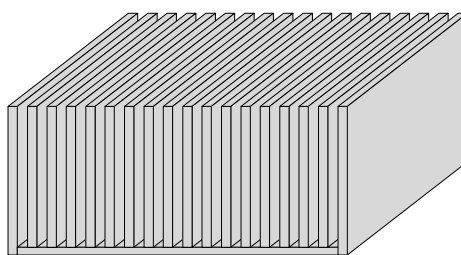
(ข) ไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

3.1.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก หรือที่เรียกว่าเพลเทียร์ สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานความเย็น โดยมีการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกเป็นไฟฟ้าอินพุตให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยพาหะที่นำไฟฟ้าจะทำหน้าที่ปั๊มเอาความร้อนจากฝั่งเย็นไปทิ้งที่ฝั่งร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากฝั่งเย็นในการทำความเย็นให้กับระบบทำความเย็น ดังรูปที่ 2.17

3.1.3 แผงระบายความร้อน

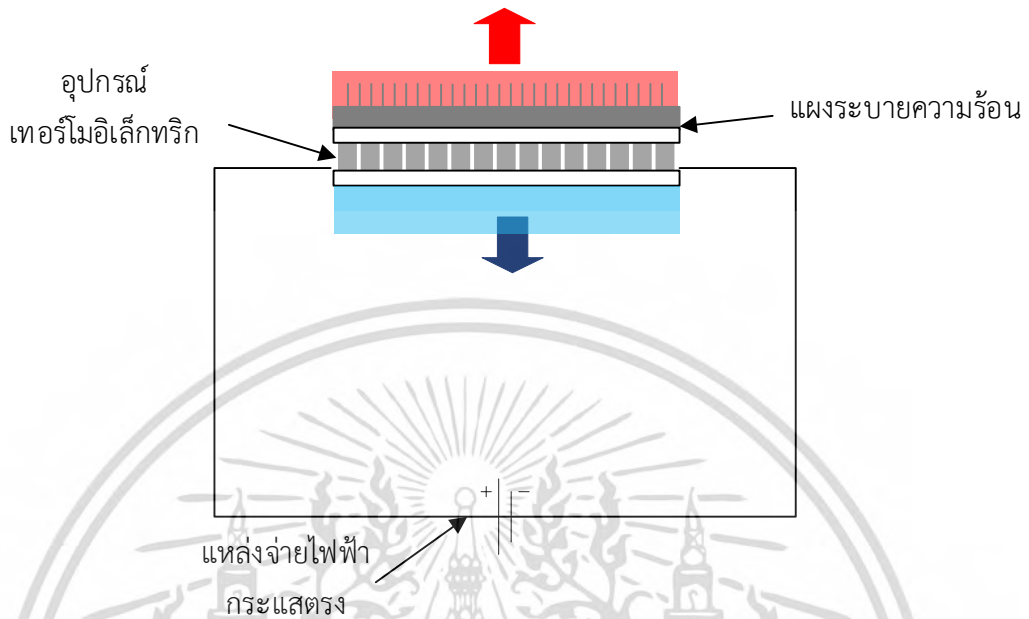
แผงระบายความร้อน คือ บริเวณที่สัมผัสกับความร้อนสูงเพื่อนำความร้อนไปปล่อยทิ้งบริเวณที่มีแหล่งความร้อนต่ำ ผ่านการนำความร้อน สามารถทำได้จากหลายวัสดุ เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม หรือแบบผสมระหว่างทองแดงและอะลูมิเนียม ซึ่งมีครีบเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสให้กับแผงระบายความร้อน และมีการประกอบติดอยู่กับพัดลมเพื่อทำการเป่าลมให้กับแผงทำความร้อน เพื่อเป็นการช่วยระบายความร้อนออกจากแผงระบายความร้อน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผงระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการต่อใช้งานระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และแผงระบายความร้อน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การต่อใช้งานระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

3.2 อุปกรณ์สำหรับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

จากหลักการทำงานของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกจากหัวข้อที่ 3.1 เป็นระบบที่ใช้งานจริง ซึ่งการต่อการใช้งานระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และแผงระบายความร้อน สำหรับงานวิจัยได้ทำการจำลองผ่านโปรแกรม MATLAB โดยใช้งานด้านโปรแกรมมิงกราฟิก MATLAB Simulink มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับการจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง มี 2 ชนิด คือ

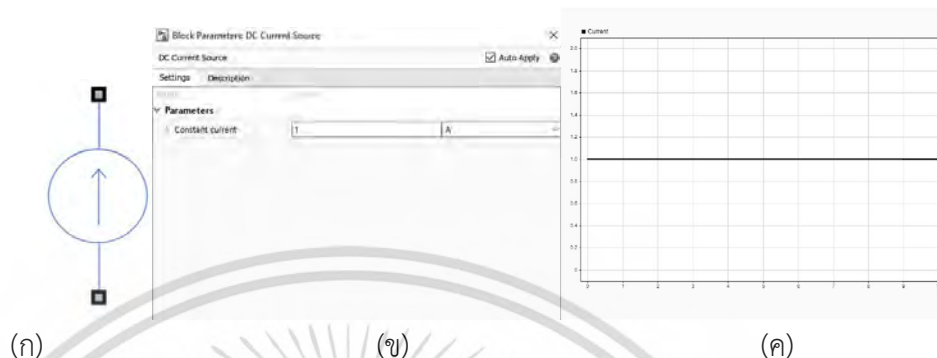
1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง สอดคล้องกับ รูปที่ 3.2 (ก)
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตลอด สอดคล้องกับ รูปที่ 3.2 (ข)

3.2.1.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น คือ การจำลองกระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการจำลองแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้นใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current Source) ทำหน้าที่แทนอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานจริงกับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นกระแสไฟฟ้าตรงที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกทั่วไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำความเข้าใจ สามารถระบุค่ากระแสไฟฟ้าได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ทิศทางบวกของกระแสไฟฟ้า แสดงด้วยลูกศร ब्ल็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.5 (ก) การตั้งค่ากระแสไฟฟ้า 1 A เป็นอินพุต ดังรูปที่ 3.5 (ข) และมีสัญญาณเอาต์พุตอยู่ที่ 1 A เป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.5 (ค)



รูปที่ 3.5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

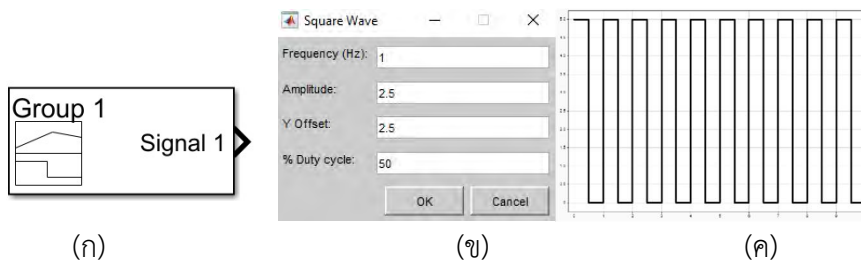
- (ก) ब्ल็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- (ค) สัญญาณเอาต์พุต

3.2.1.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

แหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ การจำลองกระแสไฟฟ้าที่มีค่าไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเป็นแบบขั้นบันได ซึ่งการจำลองแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ใน Simulink ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ซึ่งมีชื่อว่า 1.บล็อกสร้างรูปสัญญาณ (Signal Builder) เปรียบเสมือน Function generator และ 2.บล็อกแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่แปลงรูปสัญญาณให้เป็นกระแสไฟฟ้า

3.2.1.2.1 บล็อกสร้างรูปสัญญาณ (Signal Builder)

บล็อกสร้างรูปสัญญาณ คือ การจำลองรูปสัญญาณตามลักษณะที่ต้องการ เหมือน Function generator บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.6 (ก) ซึ่งงานวิจัยนี้จำลองสัญญาณไฟฟ้าเป็นรูปพัลส์ ดังนั้น บล็อกสร้างรูปสัญญาณ จึงถูกนำมาใช้เพื่อจำลองรูปสัญญาณพัลส์ โดยกำหนดค่าความถี่ แอมพลิจูด ออฟเซต ดิวตี้ไซเคิล ซึ่งเป็นอินพุตได้ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.6 (ข) เอาต์พุต ดังรูปที่ 3.6 (ค) แต่เอาต์พุตของบล็อกสร้างรูปสัญญาณนั้นเป็นเพียงรูปสัญญาณเท่านั้น ไม่ใช่สัญญาณไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้อง เชื่อมต่อบล็อกสร้างรูปสัญญาณกับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ารูป

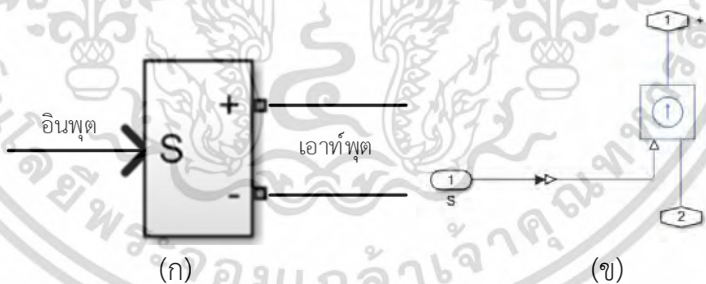


รูปที่ 3.6 แหล่งสร้างสัญญาณ

- (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งสร้างสัญญาณ
- (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งสร้างสัญญาณ
- (ค) สัญญาณเอาต์พุต

3.2.1.2.2 บล็อกแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Current source)

บล็อกแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า คือ บล็อกที่ทำการแปลงรูปสัญญาณอินพุตให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่แทนอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานจริง แต่มีการทำงานที่แตกต่างจากบล็อกแหล่งกำเนิดสัญญาณกระแสตรง คือ เอาต์พุตของบล็อกแหล่งกำเนิดสัญญาณกระแสตรงเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ แต่สำหรับงานวิจัยนี้มีการจำลองสัญญาณไฟฟารูปพัลส์ จึงต้องอาศัยรูปสัญญาณจากหัวข้อ 3.2.1.2.1 มาเป็นอินพุตของบล็อกแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างรูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าตรงรูปพัลส์ ที่พอร์ต S และทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่เอาต์พุต ที่พอร์ต (+) และ (-) ดังรูปที่ 3.7 (ก) และ (ข)



รูปที่ 3.7 แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า

- (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า
- (ข) ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า

3.2.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก คือ การจำลองอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สอดคล้องกับหัวข้อที่ 3.1.2 ทำหน้าเปรียบเสมือนอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าบวกไหลผ่านไปยังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และ (-) อุปกรณ์จะใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานความร้อนและเย็น โดยพาหะจะปั๊มเอาความร้อนจากด้านเย็นพอร์ต A ไปทิ้งที่ด้านร้อนยังพอร์ต B ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์ จึงเกิดการไหลของความร้อนจากพอร์ต A ไปยังพอร์ต การจำลองอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใน Simulink มีชื่อว่า อุปกรณ์เพลเทียร์ (Peltier Device) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.8 (ก) งานวิจัยทำการจำลองอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนรอยต่อคู่พีเอ็น จำนวน 127 รอยต่อ ซึ่งการจำลองการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สามารถจำลองโดยการกำหนดค่าตัวแปรของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 3.8 (ข)

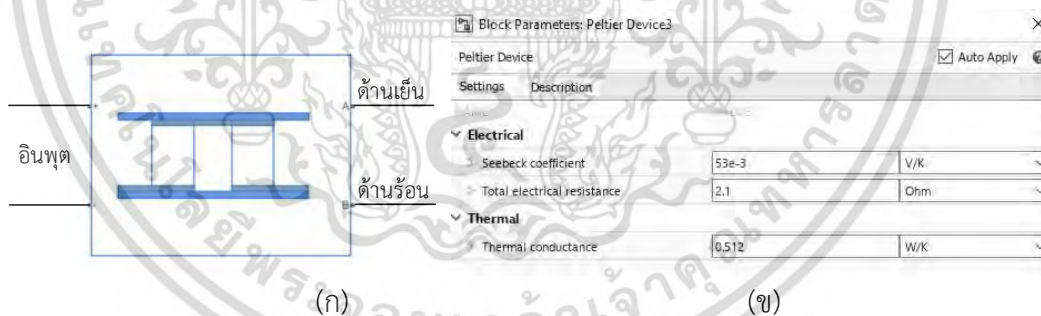
การกำหนดพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 [30]

$$S = 53 \times 10^{-3} \text{ V / K}$$

$$R = 2.1 \Omega$$

$$K = 0.512 \text{ W / K}$$

ซึ่งสามารถกำหนดพารามิเตอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก



(ก) (ข)

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

(ก) บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

(ข) หน้าตั้งค่าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

3.2.3 ระบบถ่ายโอนความร้อน

การจำลองระบบถ่ายโอนความร้อน คือ การจำลองการถ่ายโอนความร้อนจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งการจำลองจะแบ่งระบบการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกออกเป็น 2 ระบบ คือ การจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย และ การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

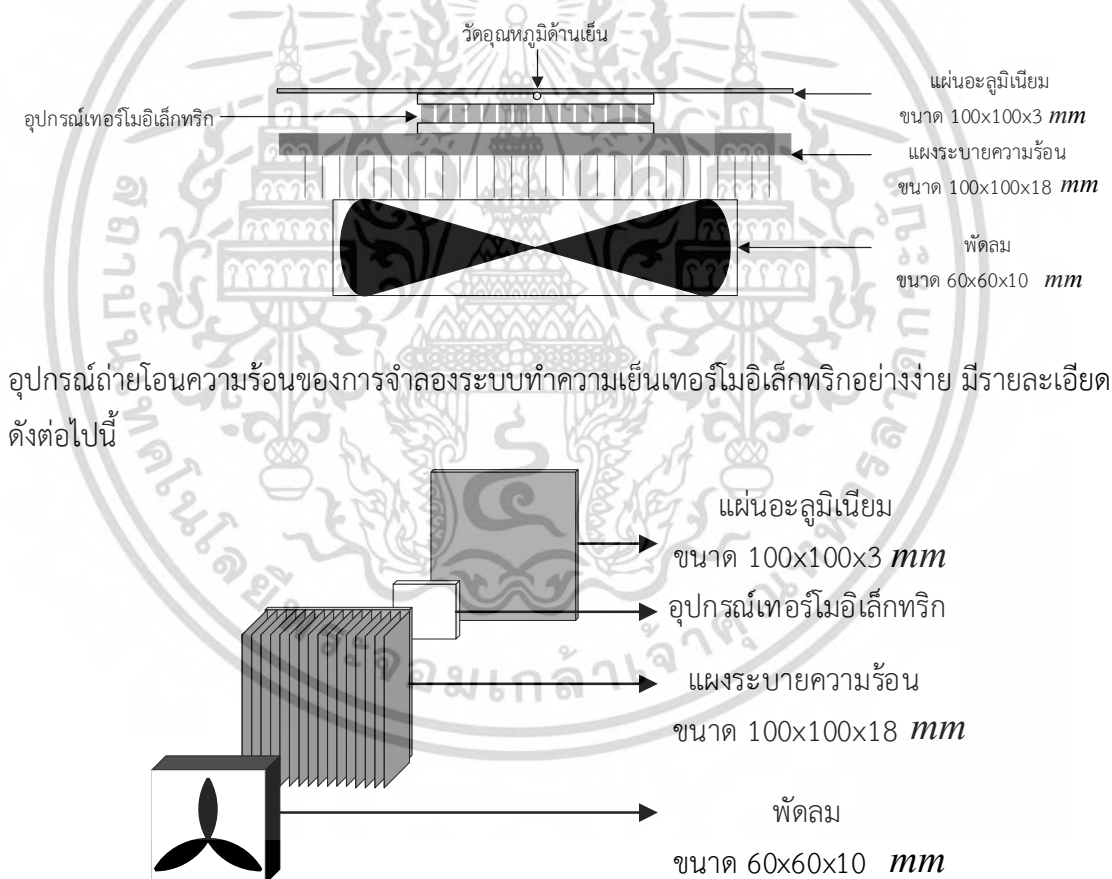
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

- ด้านเย็น คือ การจำลองอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นเป็นเพียงมวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม ขนาด $100 \times 100 \times 3 \text{ mm}$

- ด้านร้อน คือ การจำลองอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนเป็นเพียงแผงระบายความร้อน ขนาด $100 \times 100 \times 18 \text{ mm}$ ที่ติดอยู่กับพัดลมระบายความร้อน ขนาด $60 \times 60 \times 10 \text{ mm}$

การจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย เป็นการจำลองระบบการทำความเย็นและการระบายความร้อนอย่างสมบูรณ์มีการติดตั้งและอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.9 (ก) และ (ข) โดยระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่ายเป็นระบบทำความเย็นที่จำลองขึ้นเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ว่าส่งผลอย่างไรต่อระบบทำความเย็น โดยไม่คำนึงถึงการนำความร้อน การพาความร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก



อุปกรณ์ถ่ายโอนความร้อนของการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.9 การจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

(ก) การติดตั้งอุปกรณ์

(ข) อุปกรณ์สำหรับการจำลอง

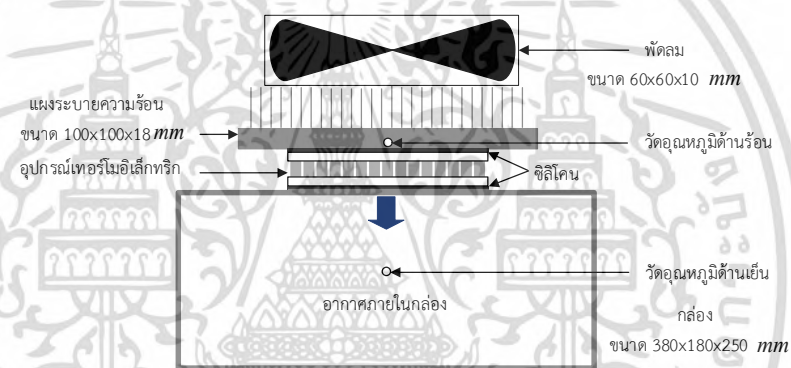
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

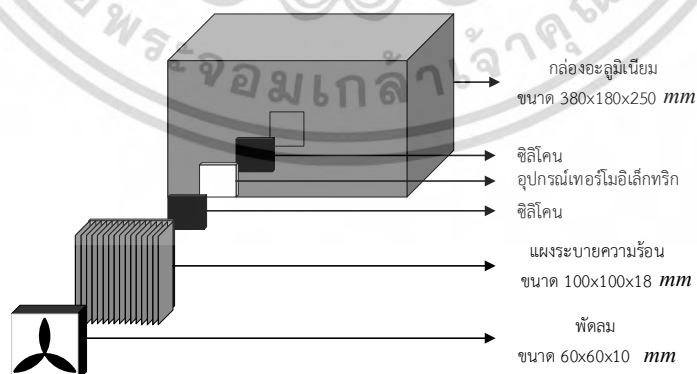
- ด้านเย็น การจำลองอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น ประกอบไปด้วย ซิลิโคนนำความร้อน การนำความร้อนของผนังอะลูมิเนียม มวลความร้อนของผนังอะลูมิเนียม การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียมไปสู่อากาศ

- ด้านร้อน การจำลองอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน ประกอบไปด้วย ซิลิโคนนำความร้อน และแผงระบายความร้อนขนาด $100 \times 100 \times 18 \text{ mm}$ ที่ติดอยู่กับพัดลมระบายความร้อน ขนาด $60 \times 60 \times 10 \text{ mm}$

ซึ่งการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นระบบทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบไปด้วยประกอบต่างๆของตู้เย็น มีการติดตั้งและอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.10 (ก) และ (ข) เพื่อเป็นการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากพารามิเตอร์ต่างๆ ว่าส่งผลอย่างไรต่อระบบทำความเย็นและมีความแตกต่างอย่างไร



อุปกรณ์ถ่ายโอนความร้อนของการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก มีรายละเอียดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

(ก) การติดตั้งอุปกรณ์

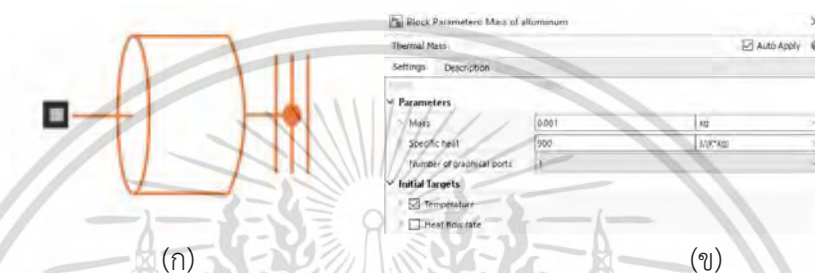
(ข) อุปกรณ์สำหรับการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองอุปกรณ์ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก มีรายละเอียดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

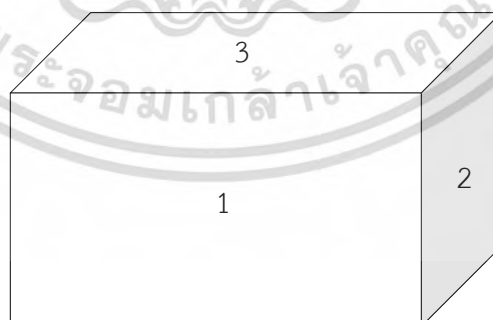
1. แผ่นอะลูมิเนียม

แผ่นอะลูมิเนียม คือ การจำลองการเก็บความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม ในระบบระบายความร้อน การจำลองแผ่นอะลูมิเนียมใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกมวลความร้อน (Thermal mass) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.12(ก) สำหรับงานวิจัยนี้จำลองแผ่นอะลูมิเนียมขนาด $100 \times 100 \times 3$ mm โดยสามารถจำลองแผ่นอะลูมิเนียม จากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ เช่น มวล ค่าความจุความร้อนของวัสดุ และอุณหภูมิเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.12(ข)



รูปที่ 3.11 แผ่นอะลูมิเนียม
(ก) บล็อกไดอะแกรมมวลความร้อน
(ข) หน้าตั้งค่ามวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม

งานวิจัยนี้ยังใช้บล็อกมวลความร้อน สำหรับจำลองอุปกรณ์ของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริก นั่นคือ การจำลองการเก็บความร้อนของผนังอะลูมิเนียมซึ่งเป็นผนังของตู้เย็น โดยที่ผนังอะลูมิเนียมมีมวลแตกต่างกันในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3.12 มีมวลดังตาราง ที่ 3.1 ซึ่งแผ่นอะลูมิเนียมจะมีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ $900 \text{ J}/(\text{K} * \text{Kg})$



รูปที่ 3.12 การจำลองการเก็บความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

ตารางที่ 3.1 มวลของผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน

ด้านที่	มวล (Kg)
1	0.2565
2	0.1215
3	0.1847

อีกทั้งยังมีการจำลองมวลความร้อนของอากาศผ่านบล็อกมวลความร้อน โดยที่มวลอากาศภายในกล่อง 0.022 Kg และอากาศมีค่าความจุความร้อนอยู่ที่ $1005.4 \text{ J}/(\text{K} * \text{Kg})$

2. ซิลิโคนนำความร้อน

ซิลิโคนนำความร้อน คือ การจำลองการนำความร้อนผ่านชั้นของวัสดุ สำหรับพื้นผิวเรียบ การไหลของความร้อนจะไหลจากพอร์ต A ไปยังพอร์ต B การจำลองซิลิโคนใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกการนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.13 (ก) สำหรับงานวิจัยนี้จำลองซิลิโคนนำความร้อน ที่อยู่ติดกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด $40 \times 40 \text{ mm}$ หนา 0.01 mm โดยสามารถจำลองซิลิโคนนำความร้อน จากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ เช่น พื้นที่ ความหนา และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ดังรูปที่ 3.13 (ข) จากค่าจริงของซิลิโคนนำความร้อน

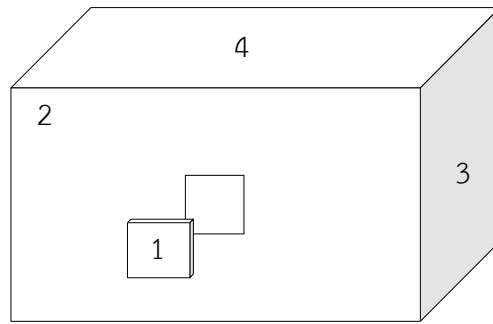


รูปที่ 3.13 ซิลิโคนนำความร้อน

(ก) บล็อกไดอะแกรมการนำความร้อน

(ข) หน้าตั้งค่าการนำความร้อนของซิลิโคน

งานวิจัยนี้ยังมีการใช้บล็อกการนำความร้อน สำหรับการจำลองอุปกรณ์ของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกในการจำลองการนำความร้อนของผนังอะลูมิเนียมซึ่งเป็นผนังของตู้เย็น โดยที่ผนังอะลูมิเนียมมีพื้นที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3.14 มีพื้นที่ ดังตาราง ที่ 3.2 ซึ่งแผ่นอะลูมิเนียมมีความหนาที่ 1 mm และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ $247 \text{ W}/(\text{K} * \text{m})$



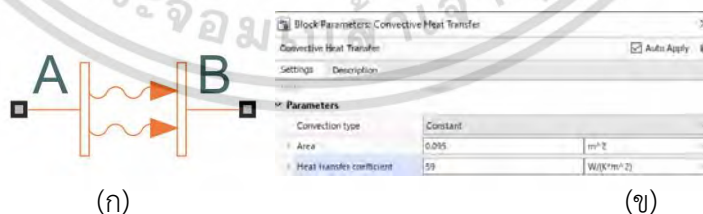
รูปที่ 3.14 การจำลองการนำความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

ตารางที่ 3.2 พื้นที่ผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน

ด้านที่	พื้นที่ (m^2)
1	0.0016
2	0.0934
3	0.0450
4	0.0684

3. การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม คือ การจำลองการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนระหว่างวัสดุ ใช้การเคลื่อนที่ของของไหล การไหลของความร้อนจะไหลจากพอร์ต A ไปยังพอร์ต B การจำลองซิมูลิคอนใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกการพาความร้อน (Convective Heat Transfer) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.15 (ก) สำหรับงานวิจัยนี้ผนังอะลูมิเนียมที่สัมผัสกับอากาศ ขนาด $380 \times 250 \text{ mm}$ หนา 1 mm โดยสามารถจำลองการพาความร้อน จากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ พื้นที่ และ Heat transfer Coefficient ดังรูปที่ 3.15 (ข) จากค่าจริงของการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม



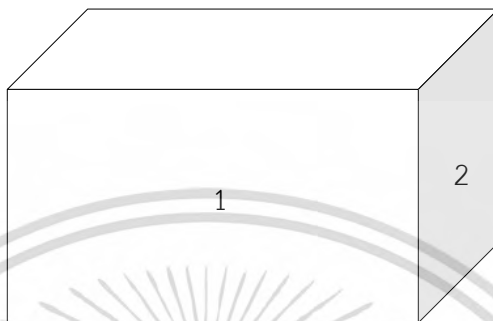
รูปที่ 3.15 การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

(ก) บล็อกไดอะแกรมการพาความร้อน

(ข) หน้าตั้งค่าการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ยังใช้บล็อกพาความร้อน สำหรับจำลองอุปกรณ์ของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริก นั่นคือ การจำลองการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียมไปยังอากาศ โดยที่ผนังอะลูมิเนียมมีพื้นที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3.16 มีพื้นที่ ดังตาราง ที่ 3.3 และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน อยู่ที่ $59 \text{ W} / (\text{m}^2 * \text{K})$



รูปที่ 3.16 การจำลองการพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียม

ตารางที่ 3.3 พื้นที่ของผนังอะลูมิเนียมแต่ละด้าน

ด้านที่	พื้นที่
1	0.0950
2	0.0450
3	0.0684

4. การจำลองการระบายความร้อน

การจำลองการระบายความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับหัวข้อแผนระบายความร้อนที่ 3.1.3 ซึ่งในการจำลองการระบายความร้อน จะประกอบไปด้วย แผนระบายความร้อน ทำหน้าที่การกระจายความร้อนจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งความร้อนจะถูกส่งผ่านครีบบที่เชื่อมต่อกับพัดลมระบายความร้อน ซึ่งพัดเอาความร้อนไปทิ้งที่อุณหภูมิห้อง

แผนระบายความร้อน คือ การจำลองแผนระบายความร้อนที่สามารถกระจายความร้อนจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ผ่านการนำความร้อนของวัสดุ โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านครีบบ การจำลองแผนระบายความร้อนใน Simulink มีชื่อว่า แผนระบายความร้อน (Heatsink) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.17 (ก) สำหรับงานวิจัยนี้จำลองแผนระบายความร้อน $100 \times 100 \times 18 \text{ mm}$ โดยสามารถจำลองแผนระบายความร้อนจากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ เช่น ความสูงของครีบบ ความหนาของครีบบ ความห่างของครีบบ จากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ ดังรูปที่ 3.17 (ข) จากค่าจริงของแผนระบายความร้อน และสามารถเลือกใช้การพาความร้อนผ่านพัดลมระบายความร้อน จากการจำลองพัดลมระบายความร้อน ใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกค่าคงที่ทางกายภาพ (PS Constant) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.17 (ก)

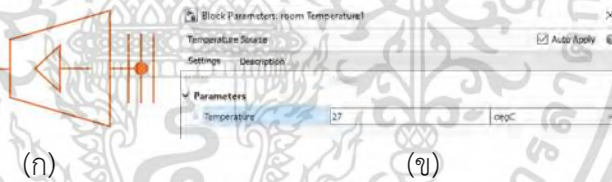
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Simulink มีชื่อว่า บล็อกค่าคงที่ทางกายภาพ (PS Constant) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.17 (ก) สำหรับงานวิจัยนี้ การจำลองใช้พัดลมขนาด 60x60x10 mm ซึ่งมีความเร็วในการพาความร้อน 1.47 m/s จากการกำหนดค่าคงที่ของวัสดุ [31] ดังรูปที่ 3.17 (ค) โดยความร้อนที่ถูกกระจายจากพัดลมระบาย ความร้อนจะถูกนำมาทิ้งที่แหล่งความร้อนในบรรยากาศ การจำลองแหล่งความร้อนในบรรยากาศ ใน Simulink มีชื่อว่า แหล่งความร้อน (Temperature source) บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.18 (ก) โดยสามารถกำหนดอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.18 (ข)



รูปที่ 3.17 แผงระบายความร้อน

- (ก) บล็อกไดอะแกรมแผงระบายความร้อน
- (ข) หน้าตั้งค่าแผงระบายความร้อน
- (ค) หน้าตั้งค่าพัดลมระบายความร้อน



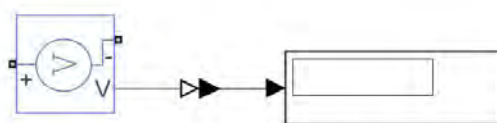
รูปที่ 3.18 แหล่งความร้อนในบรรยากาศ

- (ก) บล็อกไดอะแกรมแหล่งความร้อน
- (ข) หน้าตั้งค่าแหล่งความร้อน

3.2.4 ระบบการวัด

3.2.4.1 บล็อกเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage sensor)

บล็อกเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า คือ การจำลองอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดของวงจรไฟฟ้า โดยอาศัยพอร์ต + และ - เป็นจุดเชื่อมต่อกับวงจร และค่าแรงดันไฟฟ้าแสดงผลที่จุด V บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.19

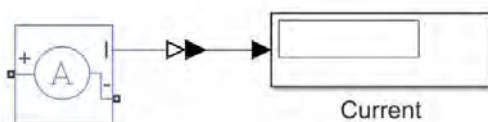


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

3.2.4.2 บล็อกเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current sensor)

บล็อกเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า คือ การจำลองอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจรไฟฟ้า โดยอาศัยพอร์ต + และ - เป็นจุดเชื่อมต่อกับวงจร และค่ากระแสไฟฟ้าแสดงผลที่จุด A บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

3.2.4.3 บล็อกเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของความร้อน (Heat flow rate sensor)

บล็อกเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของความร้อน คือ การจำลองอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของความร้อนในระบบความร้อน โดยเซนเซอร์การวัดอัตราการความร้อนอยู่ที่จุด A ซึ่งไหลไปยังจุด B แสดงผลออกทางจุด H บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์ตรวจวัดอัตราการไหลของความร้อน

3.2.4.4. บล็อกเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor)

บล็อกเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ คือ การจำลองอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยเซนเซอร์การวัดอยู่ที่จุด A เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงที่จุด B และแสดงผลออกทางจุด T บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.2.5 อื่นๆ

บล็อกการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Solver Configuration)

บล็อกไดอะแกรมการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลอง ซึ่งต้องมีอยู่ในทุกระบบของการจำลอง

$$f(x) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการตั้งค่าพารามิเตอร์

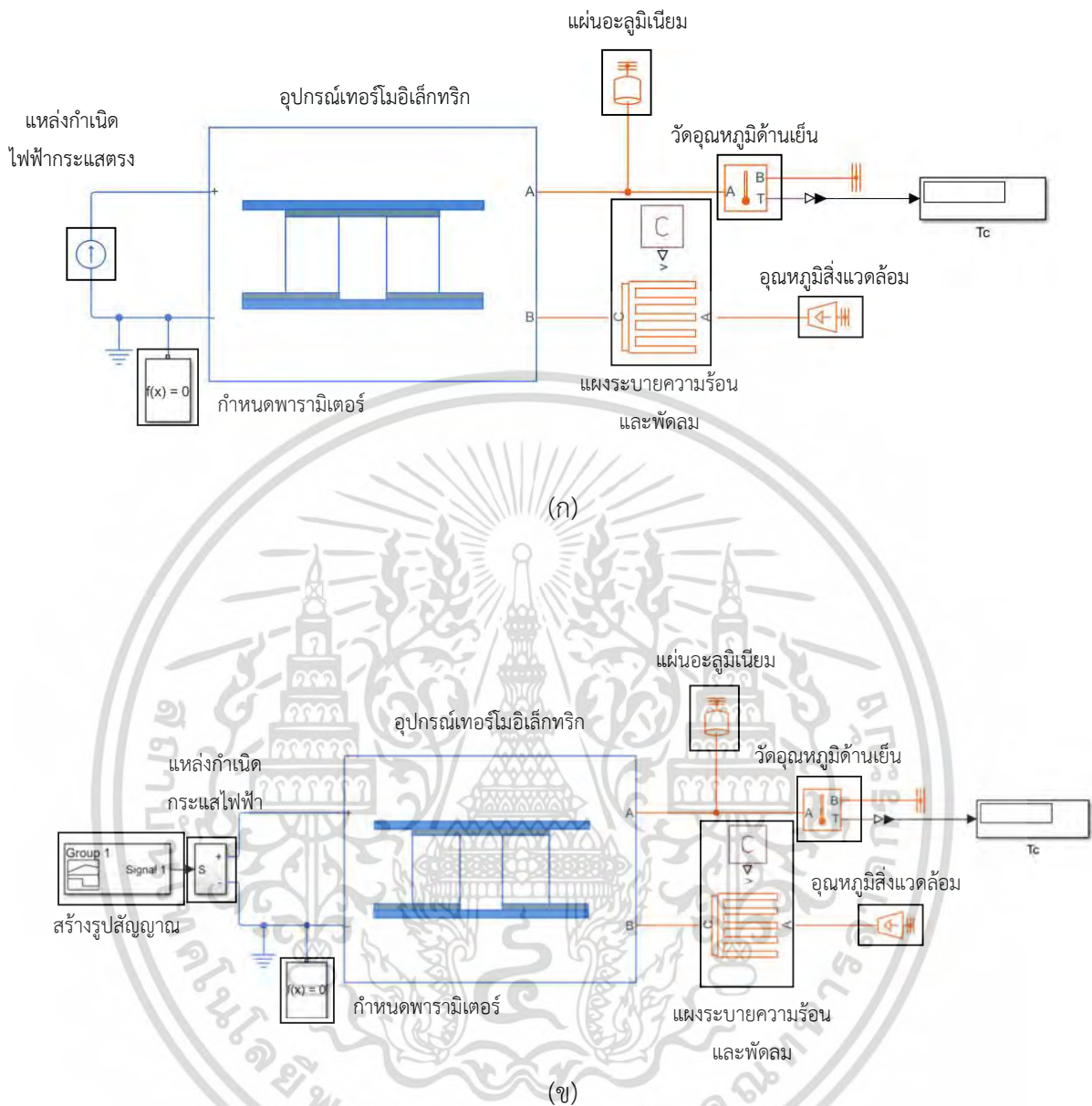
3.3 วิธีการจำลองระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

การจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย เป็นการจำลองระบบเพื่อการทำความเย็นและระบายความร้อนได้สมบูรณ์ โดยระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่ายเป็นระบบทำความเย็นที่จำลองขึ้นเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ว่าส่งผลอย่างไรต่อระบบทำความเย็น โดยไม่คำนึงถึงการนำความร้อน การพาความร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ซึ่งการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย เป็นการจำลองเพื่อศึกษาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จากพารามิเตอร์ 2 ชนิด

1. กระแสไฟฟ้าตรง โดยมีบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.24(ก)
2. ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ โดยมีบล็อกสร้างรูปสัญญาณเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.24(ข)

การจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย มีการกำหนดเวลาในการทำความเย็น 100 s เนื่องจากเป็นช่วงแรกของการทำความเย็น ระบบทำความเย็นนั้นยังไม่เข้าสู่สมดุล ดังนั้น ผลการจำลองจึงทำให้ทราบถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อการทำความเย็น



รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย
 (ก) โดยมีบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า
 (ข) โดยมีบล็อกสร้างรูปสัญญาณเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

3.3.1 กระแสไฟฟ้าตรง

การจำลองแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงที่จ่ายให้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1-10 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไป เพื่อศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าต่อการทำความเย็น และหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้ระบบทำความเย็นทำงานได้ดีที่สุด

มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) กำหนดค่ากระแสไฟฟ้าลงในบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1 A โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีค่ากระแสไฟฟ้า 1 A
- 2) นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน
- 3) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับมวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม
- 4) เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิระหว่างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A และแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อวัดอุณหภูมิด้านเย็น
- 5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อกับแผงระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน
- 6) ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27°C
- 7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 2 A ถึง 10 A บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

3.3.2 ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

การจำลองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ที่จ่ายให้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านบล็อกสร้างสัญญาณ เพื่อศึกษาผลกระทบของความถี่ที่ส่งผลต่อการทำความเย็น การจำลองแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ 1 10 100 และ 1000 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ในงานวิจัยมีค่า 5 A ผลจากการจำลองที่ 3.3.1 จำลองเป็นเวลา 100 s และบันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไปเพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

- 1) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์จากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยมีการกำหนดค่าความถี่ 1 Hz แอมพลิจูด 2.5 ออฟเซ็ท 2.5 และดิวตี้ไซเคิล 10%
- 2) เชื่อมต่อบล็อกสร้างสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงรูปสัญญาณจำลองให้เป็นกระแสไฟฟ้า
- 3) นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน
- 4) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับมวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม
- 5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อกับแผงระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C

7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิลเป็น 20% ถึง 90% ที่ความถี่เดียวกัน ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

8) ทำซ้ำโดยเปลี่ยนความถี่เป็น 10 100 และ 1000 Hz ที่ค่าความถี่ไซเคิล 10% ถึง 90% บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

ซึ่งผลจากการจำลองตอนที่ 1 พบว่าที่ความถี่ 1 Hz สามารถทำความเย็นได้น้อยที่สุด จึงมีความสนใจช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าส่งผลกระทบต่อการทำทำความเย็นอย่างไร จึงเป็นที่มาของการศึกษาความถี่ในตอนที่ 2

ตอนที่ 2 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 0.1 ถึง 1 Hz เพิ่มขึ้นทีละ 0.1 Hz ความถี่ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ในงานวิจัยมีค่า 5 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไปเพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อการทำความเย็น

มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

1) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยมีการกำหนดค่าความถี่ 0.1 Hz แอมพลิจูด 2.5 ออฟเซต 2.5 และความถี่ไซเคิล 10%

2) เชื่อมต่อบล็อกสร้างสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงรูปสัญญาณจำลองให้เป็นกระแสไฟฟ้า

3) นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน

4) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับมวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม

5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อกับแผงระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน

6) ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C

7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิลเป็น 20% ถึง 90% ที่ความถี่เดียวกัน ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

8) ทำซ้ำโดยเปลี่ยนความถี่เป็น 0.2 ถึง 1.0 Hz ที่ค่าความถี่ไซเคิล 10% ถึง 90% บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลจากการจำลองตอนที่ 2 พบว่าที่ความถี่ที่ต่ำกว่า 1 Hz สามารถทำความเย็นได้น้อยที่สุด เนื่องจากความถี่ต่ำ และจากผลการทดลองตอนที่ 1 จะเห็นว่าช่วงความถี่ที่ 10 ถึง 100 Hz สามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงกันจึงสนใจศึกษาเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสม จึงเป็นที่มาของการศึกษาความถี่ในตอนที่ 3

ตอนที่ 3 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 10 ถึง 100 Hz เพิ่มขึ้นทีละ 10 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ในงานวิจัยมีค่า 5 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไปเพื่อศึกษาความแตกต่างความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อการทำความเย็น มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

- 1) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยมีการกำหนดค่าความถี่ 10 Hz แอมพลิจูด 2.5 ออฟเซต 2.5 และดิวตี้ไซเคิล 10%
- 2) เชื่อมต่อบล็อกสร้างสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงรูปสัญญาณจำลองให้เป็นกระแสไฟฟ้า
- 3) นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน
- 4) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับมวลความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียม
- 5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อกับแผงระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน
- 6) ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- 7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 20% ถึง 90% ที่ความถี่เดียวกัน ทำการจำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป
- 8) ทำซ้ำโดยเปลี่ยนความถี่เป็น 20 ถึง 100 Hz ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 90% บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่พอร์ต A ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนไป

3.4 วิธีการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบไปด้วยประกอบส่วนต่างๆ ของตู้เย็น เช่น ซิลิโคน ผนังอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.26 แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 จากการจำลองพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าและความถี่ จากการจำลองที่ 3.3 ที่ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ กระแสไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ที่จ่ายให้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย ซึ่งพบว่ากระแสไฟฟ้าและความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก คือ กระแสไฟฟ้า 5 A และ ความถี่ 40 Hz ดังนั้นจึงกำหนดค่าขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์อยู่ที่ 5 A ความถี่ Hz ลงในบล็อกสร้างสัญญาณ ดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10 % โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C และทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 °C ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการทำความเย็น

มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

- 1) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยมีการกำหนดค่าความถี่ 40 Hz แอมพลิจูด 2.5 ออฟเซ็ท 2.5 และดิวตี้ไซเคิล 10%
- 2) เชื่อมต่อบล็อกสร้างสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงรูปสัญญาณจำลองให้เป็นกระแสไฟฟ้า
- 3) นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน
- 4) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของความร้อน โดยความเย็นจะไหลไปยังซิลิโคนนำความร้อนผ่านบล็อกนำความร้อน ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบล็อกนำความร้อนของอะลูมิเนียมซึ่งเป็นผนังของตู้เย็น และไปยังบล็อกการพาความร้อนที่เป็นการพาความร้อน จากผนังกล่องตู้เย็นไปสู่อากาศภายในกล่อง
- 5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อซิลิโคนนำความร้อนผ่านบล็อกนำความร้อน ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบล็อกนำความร้อนของอะลูมิเนียม และแผ่กระจายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน
- 6) ทำการจำลองการทำความเย็น โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C ทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 °C บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบ
- 7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 20% ถึง 100% เพิ่มขึ้นทีละ 10% บันทึกเวลาในการทำความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป

ตอนที่ 2 การจำลองการไบแอสกระแสไฟฟ้า 1 – 4 A ให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ดังรูปที่ 3.25 โดยที่กระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 5 A ความถี่ 40 Hz ลงในบล็อกสร้างสัญญาณ ดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10 % โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C และทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 °C ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการทำความเย็น

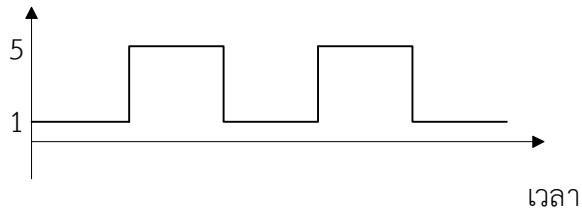
มีรายละเอียดการจำลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

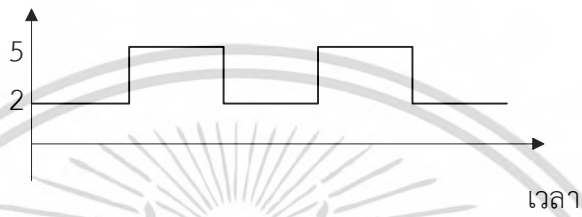
- 1) สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยมี การกำหนดค่าความถี่ 40 Hz แอมพลิจูด 2 ออฟเซ็ท 3 และดิวตี้ไซเคิล 10%
- 2) เชื่อมต่อบล็อกสร้างสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงรูปสัญญาณจำลองให้เป็นกระแสไฟฟ้า
- 3) นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต (+) และพอร์ต (-) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จากการขนถ่ายความร้อน
- 4) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต A ด้านเย็น เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของความร้อน โดยความเย็นจะไหลไปยังซิลิโคนนำความร้อนผ่านบล็อกนำความร้อน ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบล็อกนำความร้อนของอะลูมิเนียมซึ่งเป็นผนังของตู้เย็น และไปยังบล็อกการพาความร้อนที่เป็นการพาความร้อน จากผนังกล่องตู้เย็นไปสู่อากาศภายในกล่อง
- 5) นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่พอร์ต B ด้านร้อน เชื่อมต่อซิลิโคนนำความร้อนผ่านบล็อกนำความร้อน ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบล็อกนำความร้อนของอะลูมิเนียม และแผงระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน
- 6) ทำการจำลองการทำความเย็น โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C ทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 °C บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบ
- 7) ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 20% ถึง 90% เพิ่มทีละ 10% บันทึกเวลาในการทำความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป
- 8) ทำซ้ำโดยสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด 1.5 ออฟเซ็ท 3.5 และทดลองที่ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 90% เพิ่มทีละ 10% บันทึกเวลาในการทำความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป
- 9) ทำซ้ำโดยสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด 1 ออฟเซ็ท 4 และทดลองที่ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 90% เพิ่มทีละ 10% บันทึกเวลาในการทำความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป
- 10) ทำซ้ำโดยสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมจากบล็อกสร้างสัญญาณ โดยเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด 0.5 ออฟเซ็ท 4.5 และทดลองที่ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง 90% เพิ่มทีละ 10% บันทึกเวลาในการทำความเย็น ค่ากำลังไฟฟ้าในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบเมื่อค่าดิวตี้ไซเคิลเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

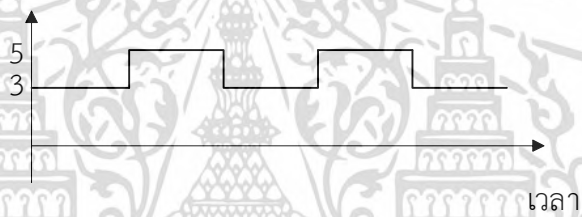
กระแสไฟฟ้า



กระแสไฟฟ้า



กระแสไฟฟ้า

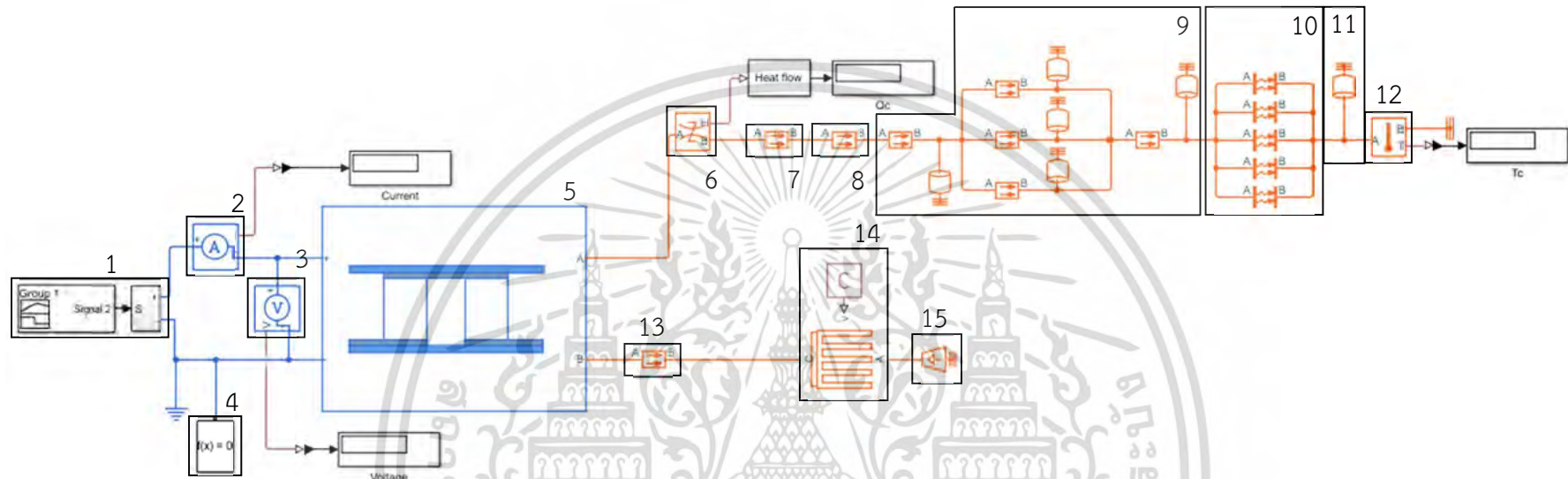


กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.25 การไบแอสไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมการจำลองตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

การจำลองตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. สร้างสัญญาณและแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า
2. เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า
3. เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า
4. การตั้งค่า
5. อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก
6. เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของความร้อน
7. การนำความร้อนของซิลิโคน
8. การนำความร้อนของผนังอะลูมิเนียม
9. การนำความร้อนและการมวลความร้อนของผนังอะลูมิเนียม
10. การพาความร้อนของผนังอะลูมิเนียมไปยังอากาศภายในกล่อง
11. มวลความร้อนของอากาศภายในกล่อง
12. วัดอุณหภูมิด้านเย็น
13. การนำความร้อนของซิลิโคน
14. แผงระบายความร้อนและพัดลม
15. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

ผลการจำลองและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะนำเสนอผลของการจำลองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ความถี่ และตัวที่ใช้เคลของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่จ่ายให้ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่ายและตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.1 ผลการจำลองระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

ซึ่งการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย เป็นการจำลองเพื่อศึกษาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จากพารามิเตอร์ 2 ชนิด

4.1.1 กระแสไฟฟ้าตรง โดยมีบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จากการจำลองที่ 3.3.1

4.1.2. ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ โดยมีบล็อกสร้างรูปสัญญาณเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จากการจำลองที่ 3.3.2

ตอนที่ 1 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 1 10 100 และ 1000 Hz

ตอนที่ 2 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง 1 Hz

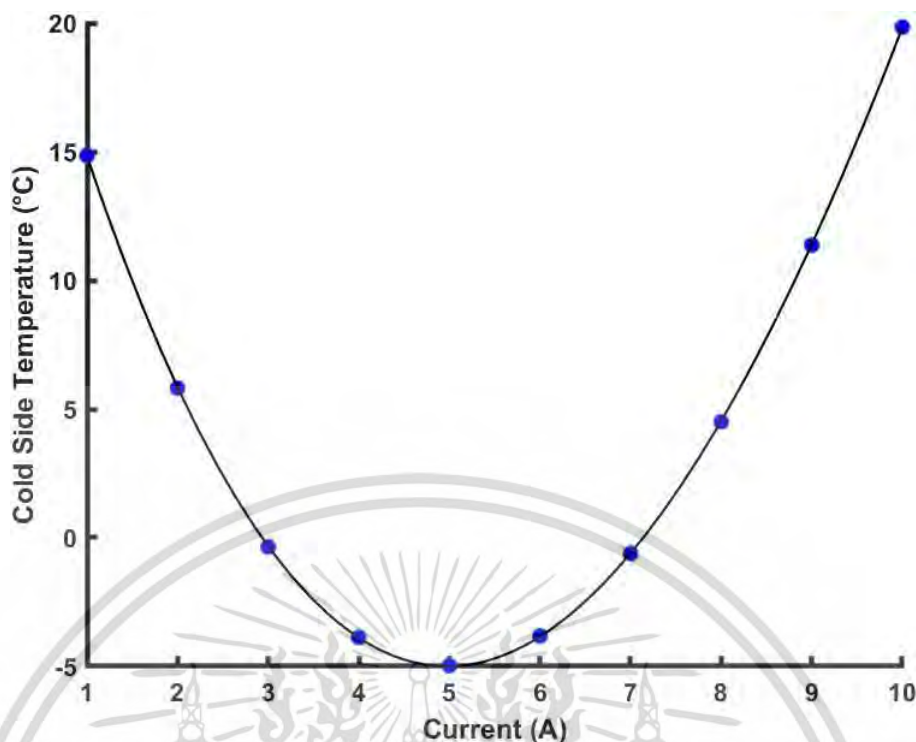
ตอนที่ 3 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 10 ถึง 100 Hz

4.4.1 ผลการจำลองกระแสไฟฟ้า

การจำลองแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงที่จ่ายให้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 1-10 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าตรงต่อการทำความเย็น และหาค่ากระแสไฟฟ้าตรงที่ทำให้ระบบทำความเย็นทำงานได้ดีที่สุด

ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1 ถึง 5 A อุณหภูมิจะลดลงจาก 14.85 ถึง -4.99 $^{\circ}C$ และเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 6 ถึง 10 A อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก -3.82 ถึง 19.84 $^{\circ}C$ ดังรูปที่ 4.1

ผลการจำลอง พบว่าเป็นไปตามปรากฏการณ์ความร้อนของจูล (Joule's Heating) คือปรากฏการณ์ที่เชื่อมโยงระหว่างไฟฟ้าและความร้อนแบบย้อนกลับไม่ได้ เนื่องจากมีความร้อนเกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุ เป็นผลให้เมื่อมีการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิฝั่งเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น จากการจำลองพบว่ากระแสไฟฟ้าตรงที่สามารถทำความเย็นได้ดีที่สุด คือ กระแสไฟฟ้าตรง 5 A ซึ่งพฤติกรรมจะมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alfred, J. และคณะ [32] คือ เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้น จนถึงค่ากระแสไฟฟ้าตรงจุดหนึ่ง พบว่าอุณหภูมิด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าตรงและอุณหภูมิด้านเย็น

4.1.2 ผลการจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

ตอนที่ 1 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 1 10 100 และ 1000 Hz

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 1 10 100 และ 1000 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า 5 A ผลจากการจำลองที่ 4.1.1 จำลองเป็นเวลา 100 s และบันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไปเพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ส่งผลต่อการทำความเย็น

ตารางที่ 4.1 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ 1 10 100 และ 1000 Hz

ดิวตี้ ไซเคิล (%)	ความถี่ (Hz)			
	1	10	100	1000
	อุณหภูมิด้านเย็น (°C)			
90	-2.27	-2.30	-2.30	-2.30
80	0.54	0.48	0.48	0.48
70	3.45	3.37	3.37	3.37
60	6.47	6.38	6.37	6.37
50	9.58	9.51	9.50	9.50
40	12.83	12.75	12.75	12.74
30	16.17	16.12	16.12	16.12
20	19.66	19.63	19.62	19.62
10	23.28	23.25	23.25	23.25

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองพบว่า ที่ดิวตี้ไซเคิล 90% ความถี่ 1 10 100 และ 1000 Hz อุณหภูมิด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้ คือ -2.27 -2.30 -2.30 และ -2.30 °C ตามลำดับ โดยที่ความถี่ 1 Hz สามารถทำความเย็นได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับความถี่ที่ 10 100 และ 1000 Hz ที่สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน เช่นเดียวกันกับดิวตี้ไซเคิลค่าอื่น ที่ความถี่ 1 Hz ทำความเย็นได้น้อยที่สุดและ ที่ความถี่ 10 100 และ 1000 Hz สามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งพฤติกรรมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Michael J. Nagy และ Steven J. Roman [33] คือ เมื่อมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ความถี่ต่ำ จะเกิดการหมุนเวียนความร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง

จากผลการจำลองในตารางที่ 4.1 พบว่าความถี่ 1 Hz สามารถทำความเย็นได้น้อยที่สุด ดังนั้น จึงสนใจความถี่ในช่วงที่ต่ำกว่า 1 Hz นั่นคือ ความถี่ในช่วง 0.1 ถึง 1 Hz ว่ามีแนวโน้มที่เป็นอย่างไร จึงเป็นที่มาของการจำลองตอนที่ 2 อีกทั้งยังพบว่าความถี่ 10 และ 100 Hz สามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงกัน จึงสนใจความถี่ในช่วงที่ 10 - 100 Hz นั่นคือ ว่ามีความถี่ใดที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริก จึงเป็นที่มาของการจำลองตอนที่ 3

ตอนที่ 2 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง 1 Hz

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 0.1 ถึง 1 Hz เพิ่มขึ้นทีละ 0.1 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า 5 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมที่ส่งผลต่อการทำความเย็น

ตารางที่ 4.2 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง 1 Hz

ดิวตี้ ไซเคิล (%)	ความถี่ (Hz)									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	อุณหภูมิด้านเย็น (°C)									
90	-2.00	-2.16	-2.21	-2.23	-2.25	-2.25	-2.26	-2.26	-2.27	-2.27
80	1.00	0.78	0.68	0.63	0.60	0.58	0.56	0.54	0.54	0.54
70	4.00	3.79	3.65	3.60	3.52	3.51	3.49	3.48	3.46	3.45
60	7.07	6.79	6.68	6.58	6.56	6.52	6.50	6.49	6.48	6.47
50	10.20	9.90	9.78	9.71	9.70	9.64	9.63	9.61	9.60	9.60
40	13.41	13.11	13.01	12.95	12.91	12.89	12.87	12.85	12.84	12.83
30	16.70	16.36	16.28	16.24	16.22	16.21	16.20	16.18	16.19	16.17
20	20.02	19.83	19.76	19.73	19.70	19.70	19.69	19.67	19.70	19.66
10	23.49	23.38	23.34	23.32	23.30	23.30	23.29	23.28	23.28	23.28

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองพบว่า ที่ดิวตี้ไซเคิล 90% ความถี่ 0.1 ถึง 1 Hz อุณหภูมิด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกลดลงจาก -2.00 ถึง -2.27 °C โดยอุณหภูมิที่ 0.1 Hz จะมีอุณหภูมิสูงสุด และลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกับดิวตี้ไซเคิลค่าอื่น ดังนั้น ผลการจำลองตารางที่ 4.2 พบว่าความถี่ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1 Hz เป็นช่วงความถี่ต่ำ ทำความเย็นได้น้อยเมื่อเทียบกับความถี่ที่ 10 และ 1000 Hz จึงไม่เหมาะสมกับการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 3 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 10 ถึง 100 Hz

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 10 ถึง 100 Hz เพิ่มขึ้นทีละ 0.1 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า 5 A จำลองเป็นเวลา 100 s บันทึกอุณหภูมิด้านเย็นที่เปลี่ยนไปเพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมที่ส่งผลต่อการทำความเย็น

ตารางที่ 4.3 การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่ 10 ถึง 100 Hz

ดิวตี้ ไซเคิล (%)	ความถี่ (Hz)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	อุณหภูมิด้านเย็น (°C)									
90	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30	-2.30
80	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
70	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
60	6.38	6.38	6.38	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37
50	9.51	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50
40	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75
30	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12	16.12
20	19.63	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62	19.62
10	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25

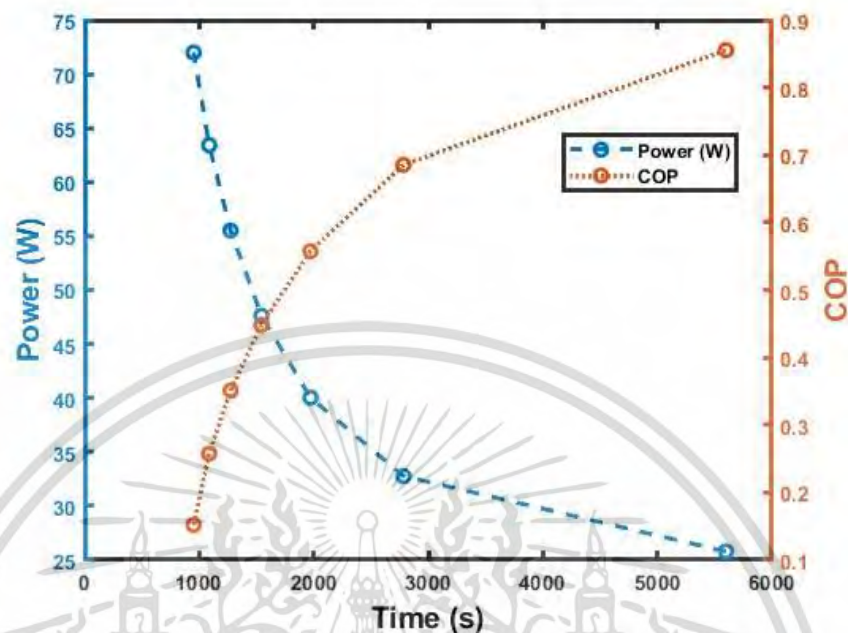
ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองพบว่า ที่ดิวตี้ไซเคิล 90% ความถี่ 10 ถึง 100 Hz สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน เช่นเดียวกับที่ดิวตี้ไซเคิลค่าอื่น ยกเว้นที่ดิวตี้ไซเคิล 60% 50% และ 20% ซึ่งสามารถทำความเย็นได้เท่ากันตั้งแต่ที่ความถี่ 40 20 และ 20 Hz ตามลำดับ ดังนั้น ความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริก คือ ความถี่ตั้งแต่ 40 เป็นต้นไป ซึ่งเป็นความถี่ที่สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน สำหรับทุกดิวตี้ไซเคิล สำหรับงานวิจัยนี้จึงเลือกความถี่ที่ 40 Hz เป็นความถี่ที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริก

4.2 ผลการจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 1 การจำลองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

จากการจำลองพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าและความถี่ จากผลการจำลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ที่ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ กระแสไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ที่จ่ายให้กับระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย พบว่ากระแสไฟฟ้าและความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก คือ กระแสไฟฟ้า 5 A และ ความถี่ 40 Hz ดังนั้นจึงกำหนดค่าขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์อยู่ที่ 5 A ความถี่ 40 Hz ลงในบล็อกสร้างสัญญาณที่เป็นแหล่งจ่ายแก่ตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10 % โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C และทำการบันทึกเวลาเมื่อ

อุณหภูมิทำความเย็นถึง $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการทำความเย็น



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กำลังไฟฟ้าที่ และค่าประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองพบว่า ที่ความถี่ไซเคิล 90% ความถี่ 10 ถึง 100 Hz สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน เช่นเดียวกับที่ความถี่ไซเคิลค่าอื่น ยกเว้นที่ความถี่ไซเคิล 60% 50% และ 20% ซึ่งสามารถทำความเย็นได้เท่ากันตั้งแต่ที่ความถี่ 40 20 และ 20 Hz ตามลำดับ ดังนั้น สำหรับงานวิจัยนี้จึงเลือกความถี่ที่ 40 Hz เป็นความถี่ที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถทำความเย็นได้เท่ากัน

รูปที่ 4.2 ผลการจำลองพบว่าที่ความถี่ไซเคิล 10% 20% และ 30% ไม่สามารถทำความเย็นได้ถึง $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้น และที่ความถี่ไซเคิลมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 40 ถึง 100% พบว่าเวลาในการทำความเย็นจะมีค่าลดลงจาก 5598.5 2783.1 1971.4 1543.8 1274.0 1086.9 ถึง 952.0 s แปรผกผันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเพลทีเยอร์ที่จะเพิ่มมากขึ้นจาก 25.78 32.77 40.03 47.62 55.50 63.42 ถึง 72.00 W เมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็น พบว่า เมื่อค่าความถี่ไซเคิล เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นจะลดลงจาก 0.8553 0.6856 0.5576 0.4483 0.3509 0.2578 ถึง 0.1519 ซึ่งเวลาในการทำความเย็นที่ความถี่ไซเคิล 40% 50% 60% 70% 80% และ 90% หากเทียบกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงหรือความถี่ไซเคิล 100 % จะมีการใช้เวลาเพิ่มขึ้น 488.07% 192.34% 107.08% 62.16% 33.82% และ 14.17% ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลง 64.19% 54.49% 44.40% 33.86% 22.92% และ 11.92% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น 463.07% 351.35% 267.08% 195.13% 131.01% และ 69.72% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

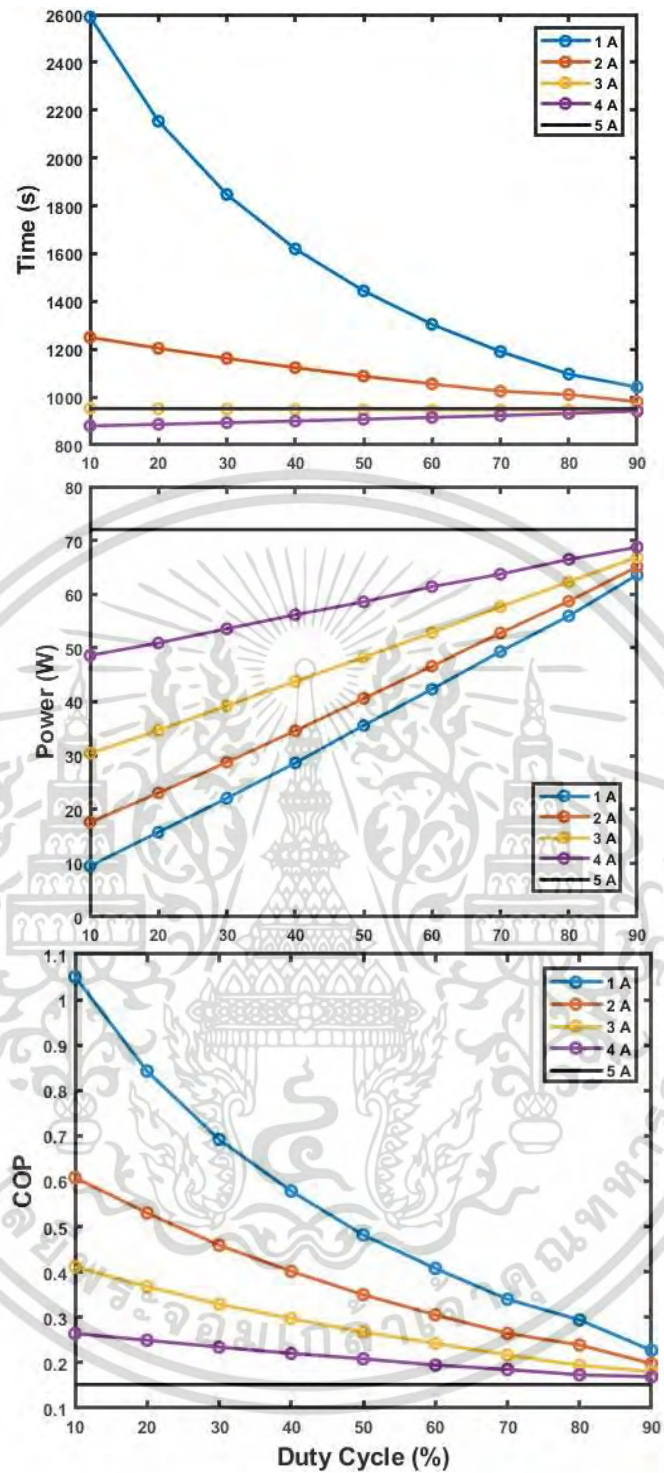
ตอนที่ 2 การจำลองการไบแอสกระแสไฟฟ้า 1 – 4 A ให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

จากการจำลองไบแอสค่ากระแสไฟฟ้า ตั้งแต่ 1 – 4 A ให้แก่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 5 A ความถี่ 40 Hz และดิวิตีไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 100% เพิ่มขึ้นทีละ 10 % โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 $^{\circ}C$ และทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 $^{\circ}C$ ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการทำความเย็น

ตารางที่ 4.4 การจำลองการไบแอสกระแสไฟฟ้าให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

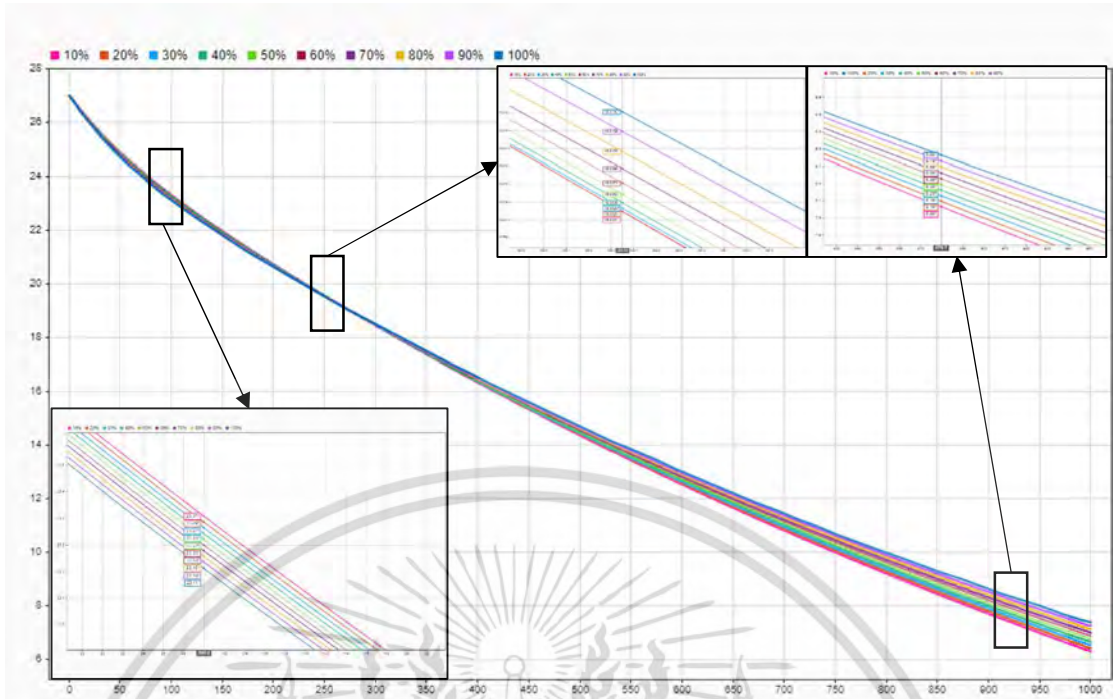
I_{Bias} (A)	ดิวิตีไซเคิล (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	เวลา (s)								
1	2589.9	2154.2	1847.7	1620.0	1444.2	1304.4	1190.6	1096.2	1041.8
2	1250.3	1204.3	1162.0	1123.2	1087.6	1055.0	1025.0	1010.7	980.9
3	953.9	951.6	949.6	948.0	946.6	946.3	946.2	946.6	948.3
4	879.7	886.3	893.0	900.1	907.5	915.1	923.1	931.4	941.9
DC	952.0								

ตารางที่ 4.4 ผลการจำลองพบว่า เมื่อไบแอสกระแสไฟฟ้าที่ 1 ถึง 2 A ให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ พบว่าเวลาในการทำความเย็น ยังมีค่าสูงกว่าการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น 5 A คือ 952.0 s และเมื่อไบแอสกระแสไฟฟ้าที่ 3 A พบว่าเวลาในการทำความเย็นมีค่าลดลงจาก 953.9 ถึง 948.3 s ซึ่งต่ำกว่าการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น 5 A ยกเว้นที่ดิวิตีไซเคิล 10% ซึ่งแปรผกผันกับดิวิตีไซเคิลที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อไบแอสกระแสไฟฟ้าที่ 4 A เวลาในการทำความเย็นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 879.7 ถึง 941.9 s โดยเวลาแปรผันตรงกับดิวิตีไซเคิลที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3



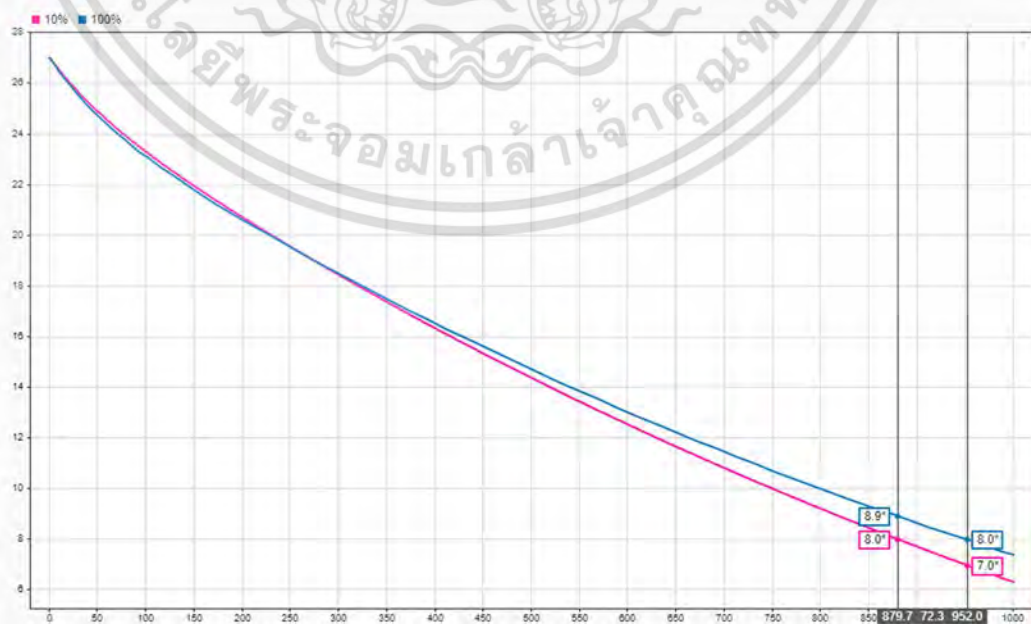
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดที่ไซเคิล เวลา กำลังไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวตั้งไซเคิล เวลาและอุณหภูมิด้านเย็น

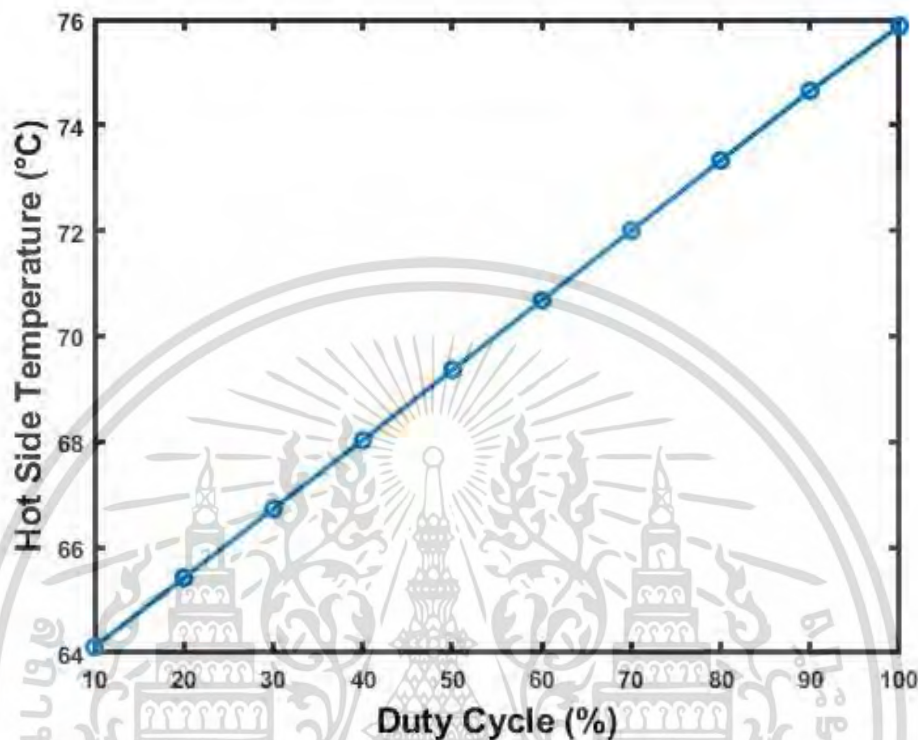
จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อทำการไบแอสกระแสไฟฟ้าให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ พบว่า ในการทำความเย็นช่วง 100 วินาที พบว่าการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 A สามารถทำความเย็นได้ดีที่สุด จนถึงขณะหนึ่ง กราฟจะมีการเปลี่ยนแปลง โดยสำหรับการไบแอสกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ตัวตั้งไซเคิล 10% สามารถทำความเย็นได้ดีที่สุด และทำความเย็นได้ลดลงตามตัวตั้งไซเคิลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้มีการใช้เวลาเพิ่มตามตัวตั้งไซเคิลที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวตั้งไซเคิล เวลาและอุณหภูมิด้านเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังหน่วยงานด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 การไบแอสกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ดิวตี้ไซเคิล 10% เทียบกับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 A พบว่าใช้เวลาทำความเย็นลดลง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิล และอุณหภูมิด้านร้อน

จากรูปที่ 4.6 พบว่า การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 A มีอุณหภูมิด้านร้อนสูงกว่า การไบแอสกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ดิวตี้ไซเคิล 10% ถึง $11.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง 5 A มีกระแสสูงกว่า ซึ่งส่งผลอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอัตราความร้อนของจุดและทำให้ผลความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น (ΔT) สูงขึ้น เป็นเหตุให้เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 A จึงใช้เวลาในการทำความเย็นสูงกว่าการไบแอสกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ดิวตี้ไซเคิล 10% ซึ่งเมื่อเทียบการไบแอสกระแสไฟฟ้า 4 A ที่ดิวตี้ไซเคิล 10% กับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 A พบว่ากำลังไฟฟ้าลดลง 0.68 เวย์ แต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 0.57 เวย์

บทที่ 5

สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการจำลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำให้ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยการจำลองการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์เพื่อการประยุกต์เป็นทำความเย็นอุปกรณ์เก็บรักษาวัคซีน

5.1.1 การจำลองระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย

การจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย เป็นการจำลองเพื่อศึกษาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจากพารามิเตอร์ 2 ชนิด

5.1.1.1 กระแสไฟฟ้าตรง โดยมีบล็อกแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

5.1.1.2 ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ โดยมีบล็อกสร้างรูปสัญญาณเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ตอนที่ 1 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 1 10 100 และ 1000 Hz

ตอนที่ 2 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง 1 Hz

ตอนที่ 3 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 10 ถึง 100 Hz

5.1.1.1 กระแสไฟฟ้าตรง

จากการจำลองตอนที่ 3.3.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าตรงต่อการทำความเย็นและหาค่ากระแสไฟฟ้าตรงที่ทำให้ระบบทำความเย็นทำงานได้ดีที่สุด ซึ่งทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1 ถึง 10 A เป็นเวลา 100 s และทำการบันทึกอุณหภูมิด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนแปลง ผลการจำลองพบว่า กระแสไฟฟ้าตรง 5 A สามารถทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็นได้ถึงอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด

5.1.1.2 ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

จากการจำลองตอนที่ 3.3.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ที่ส่งผลต่อการทำความเย็น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 1 10 100 และ 1000 Hz

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 1 10 100 และ 1000 Hz ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จาก

ผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า $5 A$ 1 จำลองเป็นเวลา $100 s$ ผลการจำลองพบว่า ความถี่ $1 Hz$ สามารถทำความเย็นได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่ 10 100 และ $1000 Hz$

ตอนที่ 2 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 0.1 ถึง $1 Hz$

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 0.1 ถึง $1 Hz$ ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า $5 A$ จำลองเป็นเวลา $100 s$ ผลการจำลองพบว่า ความถี่ตั้งแต่ 0.1 ถึง $1 Hz$ เป็นช่วงความถี่ต่ำ ทำความเย็นได้น้อยเมื่อเทียบกับความถี่ที่ 10 100 และ $1000 Hz$ จึงไม่เหมาะสมกับการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 3 การจำลองความถี่ของกระแสไฟฟ้ารูปพัลส์ที่ 10 ถึง $100 Hz$

การจำลองความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ คือ 10 ถึง $100 Hz$ ดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า $5 A$ ผลจากการจำลองที่ 4.1.1 จำลองเป็นเวลา $100 s$ ผลการจำลองความถี่ที่ $40 Hz$ เป็นความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นความถี่สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน สำหรับทุกดิวตี้ไซเคิล

5.1.2 การจำลองตู้เย็นระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

ตอนที่ 1 การจำลองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

จากการจำลองพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าและความถี่ จากผลการจำลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 พบว่ากระแสไฟฟ้าและความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก คือ กระแสไฟฟ้า $5 A$ และ ความถี่ $40 Hz$ ดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ $27 ^\circ C$ และทำการบันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง $8 ^\circ C$ ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน ผลการจำลองพบว่า เมื่อดิวตี้ไซเคิลนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความเย็นจะมีค่าลดลง ซึ่ง แปรผกผันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่จะเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่ดิวตี้ไซเคิลสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แต่ใช้เวลาในการทำความเย็นมากขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง เมื่อเรามีกำลังไฟฟ้าที่จำกัด

ตอนที่ 2 การจำลองการไบแอสกระแสไฟฟ้า $1 - 4 A$ ให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์

จากการจำลองไบแอสค่ากระแสไฟฟ้า ตั้งแต่ $1 - 4 A$ ให้แก่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ $5 A$ ความถี่ $40 Hz$ และดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการศึกษาอยู่ที่ 10% ถึง 90% เพิ่มขึ้นทีละ 10% โดยที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปพัลส์ จากผลการจำลอง 4.1.1 มีค่า $5 A$ ผลจากการจำลองที่ 4.1.1 จำลองเป็นเวลา $100 s$ ผลการจำลองความถี่ที่ $40 Hz$ เป็นความถี่ที่เหมาะสมกับการจำลองระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นความถี่สามารถทำความเย็นได้เท่ากัน สำหรับทุกดิวตี้ไซเคิล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100% เพิ่มขึ้นทีละ 10 % โดยการจำลองอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบอยู่ที่ 27 °C และทำการบันทึกเวลา ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการทำความเย็น เมื่ออุณหภูมิทำความเย็นถึง 8 °C ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาวัคซีน ผลการจำลองพบว่า การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 80% ของการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำความเย็นได้ดีกว่า ซึ่งเวลาในการทำความเย็นจะลดลง อีกทั้งช่วยลดกำลังไฟฟ้าและช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับการปฏิบัติงานจริงอาจมีผลแตกต่างจากผลการจำลอง เนื่องจากจากหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความเสถียรของอุปกรณ์ในการดำเนินิตกระแสไฟฟ้า ค่าคงที่ของตัวอุปกรณ์ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริรัตน์ เตชะธวัช, *คู่มือการบริหารจัดการวัคซีนและระบบลูกโซ่ความเย็น*. โรงพิมพ์การศาสนา สำนักงานพุทธ, 2547.
- [2] ศรัทธา อภรณ์รัตน์, *ทฤษฎีระบบเครื่องทำความเย็น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- [3] P. Fulzele *et al.*, “An IoT enabled convenient vaccine cold box for biomedical use Heart rate variability of neonates View project Stepping Stones View project An IoT enabled Convenient Vaccine Cold box for Biomedical Use,” 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/348199540>
- [4] S. A. Abdul-Wahab *et al.*, “Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator,” *Renew Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 30–34, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.04.026.
- [5] B. Ohara, R. Sitar, J. Soares, P. Novisoff, A. Nunez-Perez, and H. Lee, “Optimization Strategies for a Portable Thermoelectric Vaccine Refrigeration System in Developing Communities,” *J Electron Mater*, vol. 44, no. 6, pp. 1614–1626, Jun. 2015, doi: 10.1007/s11664-014-3491-9.
- [6] เชนษฐา รัตนพันธ์, *เทอร์โมอิเล็กทริกส์*, 3rd ed. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วน จำกัด มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2563.
- [7] D. Zhao and G. Tan, “Experimental evaluation of a prototype thermoelectric system integrated with PCM (phase change material) for space cooling,” *Energy*, vol. 68, pp. 658–666, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.01.090.
- [8] S. Jugsujinda, A. Vora-Ud, and T. Seetawan, “Analyzing of thermoelectric refrigerator performance,” in *Procedia Engineering*, 2011, vol. 8, pp. 154–159. doi: 10.1016/j.proeng.2011.03.028.
- [9] Y. J. Dai, R. Z. Wang, and L. Ni, “Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells,” 2003.
- [10] G. Min and D. M. Rowe, “Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators,” *Appl Energy*, vol. 83, no. 2, pp. 133–152, 2006, doi: 10.1016/j.apenergy.2005.01.002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] J. G. Vián and D. Astrain, “Development of a thermoelectric refrigerator with two-phase thermosyphons and capillary lift,” *Appl Therm Eng*, vol. 29, no. 10, pp. 1935–1940, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.09.018.
- [12] L. Chen, F. Meng, and F. Sun, “Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generator-driven thermoelectric refrigerator system,” *Cryogenics (Guildf)*, vol. 52, no. 1, pp. 58–65, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.cryogenics.2011.10.007.
- [13] D. Astrain, A. Martínez, and A. Rodríguez, “Improvement of a thermoelectric and vapour compression hybrid refrigerator,” *Appl Therm Eng*, vol. 39, pp. 140–150, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.01.054.
- [14] L. E. Bell, “Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems.” [Online]. Available: <http://science.sciencemag.org/>
- [15] S. B. Riffat, S. A. Omer, and X. Ma, “A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experimental investigation,” 2001. [Online]. Available: www.elsevier.nl/locate/renene
- [16] Mirmanto, I. B. Alit, I. M. A. Sayoga, R. Sutanto, Nurchayati, and A. Mulyanto, “Experimental cooler box performance using two different heat removal units: A heat sink fin-fan, and a double fan heat pipe,” *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, vol. 10, 2018, doi: 10.5098/hmt.10.34.
- [17] M. Mirmanto, S. Syahrul, and Y. Wirdan, “Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 177–184, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2018.09.006.
- [18] B. Chandrabhan Patel, S. Jagriti Khanwalkar Scientific Officer, and R. P. Chauhan Associate Professor, “Simulation of Thermoelectric Cooler and H-Bridge Driver for Precise Temperature Control Applications Under the Guidance of External Guide Internal Guide,” 2017.
- [19] A. Martínez, D. Astrain, A. Rodríguez, and G. Pérez, “Reduction in the electric power consumption of a thermoelectric refrigerator by experimental optimization of the temperature controller,” *J Electron Mater*, vol. 42, no. 7, pp. 1499–1503, Jul. 2013, doi: 10.1007/s11664-012-2298-9.

- [20] A. K. Mainil, A. Aziz, and M. Akmal, “Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load,” *Aceh International Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, Aug. 2018, doi: 10.13170/aijst.7.2.8722.
- [21] S. Manikandan, S. C. Kaushik, and R. Yang, “Modified pulse operation of thermoelectric coolers for building cooling applications,” *Energy Convers Manag*, vol. 140, pp. 145–156, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.03.003.
- [22] นภัทร วจนเทพินทร์, *วงจรพัลส์และดิจิตอล (ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ)*, 3rd ed. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2547.
- [23] บุญเรือง วัชชีลาบุตร, *วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ*, 1st ed. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2559.
- [24] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, *วงจรไฟฟ้า*, 1st ed. กรุงเทพฯ, 2564.
- [25] ไมตรี วรอุทัยจรยากุล, *ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า*.
- [26] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, *เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2560.
- [27] อภาภรณ์ สกฤตการะเวก, *Thermal and Statical Physics*.
- [28] ทศวรรษ สีตะวัน, *เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก*, 1st ed. สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.
- [29] สุวิทย์ เมษะราชย์, *คู่มือเรียนเขียนโปรแกรมและใช้งาน MATLAB Simulink*. 2021.
- [30] Y. Y. Dymyrov and V. Kubov, “Simple method of thermoelectric cooler (Peltier device) parameters determination based on datasheet and modeling results. Version 2 IoT biomedical applications View project Method of determination View project,” 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.19249.38244.
- [31] A. Mohammadnia, B. M. Ziapour, F. Sedaghati, L. Rosendahl, and A. Rezanian, “Fan operating condition effect on performance of self-cooling thermoelectric generator system,” *Energy*, vol. 224, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120177.
- [32] A. J. Piggott and J. S. Allen, “Peltier Supercooling with Isosceles Current Pulses: A Response Surface Perspective,” *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. N3045–N3054, 2017, doi: 10.1149/2.0061703jss.
- [33] M. J. Nagy and S. J. Roman, “The Effect of Pulse Width Modulation (PWM) Frequency on the Reliability of Thermoelectric Modules.”

ภาคผนวก

การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60

สาขาวิทยาศาสตร์

การหาเงื่อนไขการทำความเย็นที่เหมาะสมของเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมเพื่อการประยุกต์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บวัคซีน

Optimization condition of thermoelectric cooling using square current wave simulation for storage of vaccines application

วนันันท์ งามทรัพย์มณี, อาภาภรณ์ สกุกการเวก, ภานุพล ไชลอนกระโทก*

Wananasan Ngamsapmanee, Aparporn Sakulalavek, Bhanupol Klongratog*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Department of Physics, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

10520, Thailand

*Corresponding author. E-mail address: bhanupol.kl@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการหาเงื่อนไขการทำความเย็นที่เหมาะสมของเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมเพื่อการประยุกต์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บวัคซีน วัคซีนไวต่ออุณหภูมิ จึงมีระบบจัดเก็บวัคซีน แต่ข้อเสีย คือ ใหญ่ ไม่เหมาะกับการย้าย จึงมีการศึกษาอุปกรณ์ทำความเย็นที่รักษาอุณหภูมิ ขนย้ายได้ คือ ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก แต่มีกำลังไฟฟ้าที่สูง งานวิจัยจึงศึกษาพารามิเตอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้า คือ ดิวตี้ไซเคิล และความถี่ ตอนที่ 1 การหากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1 ถึง 7 A 100 s พบว่า กระแสไฟฟ้าตรง 3 A อุณหภูมิฝั่งเย็นจะลดลงต่ำสุด ตอนที่ 2 การหาความถี่ที่เหมาะสม ศึกษาความถี่ 10 100 1000 Hz บันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิลดถึง 8°C พบว่า ความถี่ส่งผลให้ช่วงเวลาที่ใช้ลดลงเพียงเล็กน้อย ตอนที่ 3 การหาดีวีไซเคิลที่เหมาะสม กำหนดดีวีไซเคิล คือ 60% ถึง 100% บันทึกเวลาเมื่ออุณหภูมิลดถึง 8°C ที่ 60% ถึง 90% เทียบกับ 100% ใช้เวลาเพิ่ม 188.90% ถึง 18.63% กำลังไฟฟ้าลด 35.06% ถึง 6.89% ประสิทธิภาพในการทำความเย็นเพิ่ม 55.30% ถึง 8.32%

คำสำคัญ: การทำความเย็น, เทอร์โมอิเล็กทริก, แผ่นร้อนเย็น, รอบการทำงาน, สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม

Abstract

This research proposes optimization condition of thermoelectric cooling using square current wave simulation for storage of vaccines application. The storage system has created because the vaccine is sensitive to temperature but the weak point is the storage is not suitable for moving. Therefore, the study of Thermoelectric cooling system which keeping the vaccine in good conditions, maintain stable temperature and suitable for moving Nevertheless, there is a limitation to the thermoelectric cooling system. Its electric power is too high. The research studies parameters to reduce power and the optimum parameters are duty cycle and frequency. Part 1 Suitable current for applying to thermoelectric device. Apply current 1–7 A to thermoelectric device for 100 s. The simulation results showed that current 3 A has lowest temperature at cold side. Part 2 Suitable frequency for applying to thermoelectric device. Apply frequency 10 100 1000Hz to thermoelectric device. Record time from 27°C down to 8°C, found that the frequency has less effect to time, even though, applying more frequencies but the time is almost not different. Part 3 Suitable duty cycle for applying to thermoelectric device. Determine the duty cycle is 60% to 100%. Record time from 27°C down to 8°C. Duty cycle at 60% to 90% comparing with 100%, the time increased 188.90% to 18.63%, the power reduced 35.06% to 6.89% and the COP increased 55.30% to 8.32%.

Keywords: Cooling, Duty Cycle, Peltier, Square current wave, Thermoelectric

คำนำ

วัคซีน คือ ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตจากสิ่งมีชีวิต เกิดจากการสังเคราะห์ หรือกระบวนการที่นำมาใช้เพื่อเป็นการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรคของมนุษย์ ซึ่งสามารถป้องกัน รักษา หรือลดความรุนแรงของโรคได้ โดยวัคซีนเป็นสิ่งที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถเสื่อมคุณภาพได้ หากอยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ซึ่งไม่สามารถกระตุ้นการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรค และอาจก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ตามมา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับวัคซีนจะอยู่ที่ 2 ถึง 8°C (ศิริรัตน์, 2547) ดังนั้นจึงต้องมีระบบที่ใช้ในการจัดเก็บวัคซีนและกระจายวัคซีนให้คงคุณภาพ ตั้งแต่จุดผลิตวัคซีนถึงผู้รับ ซึ่งอุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิของวัคซีนมีหลายประเภท เช่น ตู้แช่แข็งหรือตู้เย็นแบบอัดไอสามารถเก็บวัคซีนได้อย่างน้อยหนึ่งเดือน ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูง และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอด แต่ข้อเสียของตู้แช่แข็งหรือตู้เย็นนั้นคือ มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จึงไม่เหมาะกับการขนย้าย (ศรัทธา, 2557)

ดังนั้นจึงมีการศึกษาอุปกรณ์ทำความเย็นที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสม ขนาดพกพา เพื่อเหมาะกับการขนย้ายได้สะดวก สำหรับพื้นที่ห่างไกล (Punit et al., 2020) อีกทั้งเมื่อกำหนดถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ได้มีการนำเสนอเทคโนโลยีในการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler) เนื่องจากระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นระบบทำความเย็นที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีเสียงรบกวนในขณะทำความเย็นและมีขนาดกะทัดรัดสามารถพกพาได้สะดวกจึงมีการนำระบบทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้าน เช่น การประยุกต์ใช้งานเพื่อขนส่งอาหาร เวชภัณฑ์ น้ำเชื้อ หรืออวัยวะในทางการแพทย์ (เชษฐา, 2562) อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกยังต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่สูง แต่สามารถทำความเย็นได้เล็กน้อย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาระบบทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำความเย็น (Coefficient of performance) เช่น การปรับปรุงตัวระบายความร้อน (Mirmanto et al., 2018) ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Mirmanto et al., 2019) และการปรับปรุงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง Manikandan และคณะได้มีการศึกษาการจำลองแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่สัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม (Square) การเพิ่มขึ้นแบบแรมป์ (Ramp up) การลดลงแบบแรมป์ (Ramp down) การเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential rise) และการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Decay) โดยจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมสามารถให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นได้สูงที่สุด แต่ในการจำลองนี้เป็นการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมเดียว ซึ่งไม่สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่สำหรับการจัดเก็บวัคซีน

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมเพื่อการประยุกต์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บวัคซีน โดยจะมีการจำลองการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมต่อเนื่อง ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) และความถี่ โดยผลการจำลองจะทำให้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ผ่านโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2020b MATLAB license: 40904942 โดยใช้งานด้านโปรแกรมมิ่งกราฟิก MATLAB Simulink ซึ่งมีกรจำลองการทำงานระบบ ฟังก์ชันและคำสั่งจะเป็นบล็อกไดอะแกรมหรือรูปกราฟิก

การจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ในงานวิจัยนี้ใช้ Repeating Sequence เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมต่อเนื่อง แสดงดัง Fig. 1 ซึ่งสามารถกำหนดค่าตัวตรีไซเคิลและความถี่ แสดงดัง Fig. 2 และทำการเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source) เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงออกมาให้มีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีค่าตัวตรีไซเคิลและความถี่ตามกำหนด แสดงดัง Fig. 3



Fig. 1 Block diagram signal generator



Fig. 2 Windows setting of signal generator



Fig. 3 Square Wave

การจำลองการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

การจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงแก่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ขา (+) และ (-) โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจากขา (+) ไปยังขา (-) พหะส่วนใหญ่ที่อยู่สุดเทอร์โมอิเล็กทริกจะพาความร้อน จึงเกิดการไหลของความร้อนจากพอร์ท A ไปยังพอร์ท B ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ พอร์ท A และพอร์ท B แสดงดัง Fig. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

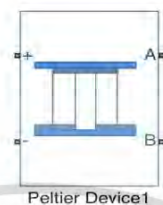


Fig. 4 Block diagram peltier device

การจำลองแหล่งความร้อน

Fig. 5 แสดงแหล่งความร้อน ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในอุดมคติ โดยในการจำลองนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นแผนระบายความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิของด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกให้คงที่ แสดงดัง Fig. 6



Fig. 5 Block diagram temperature source

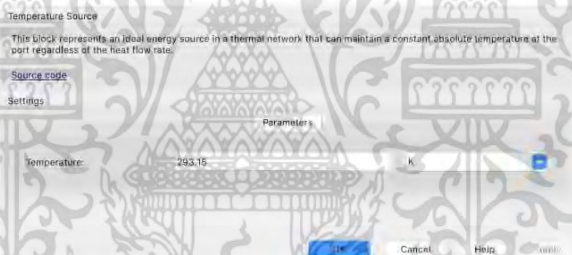


Fig. 6 Windows setting of temperature source

ตอนที่ 1 การหากระแสไฟฟ้าตรงที่เหมาะสม

สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการ กำหนดค่ากระแสไฟฟ้าตรง ตั้งแต่ 1 ถึง 7 A จ่ายให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเวลา 100 s ผ่านบล็อกรีพีทติ้ง ซีควเอนซ์ (Repeating Sequence) ซึ่งทำการเชื่อมต่ออยู่กับ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source) เพื่อสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจะเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก จากนั้นจะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยอุณหภูมิของฝั่งร้อนและฝั่งเย็นของอุปกรณ์เริ่มต้นที่ 27°C หลังจากมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1-7 A เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุล อุณหภูมิฝั่งร้อนจะมีค่าคงที่ ที่อุณหภูมิ 40°C โดยจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เปลี่ยนไปตามเวลา

ตอนที่ 2 การหาความถี่ที่เหมาะสม

สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม โดยกำหนดค่า ดิวตี้ไซเคิล และความถี่ของกระแสไฟฟ้าผ่านบล็อกรีพีทติ้ง ซีควเอนซ์ (Repeating Sequence) ซึ่งทำการเชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source) เพื่อสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจะมีค่าความถี่ในการจำลองอยู่ที่ 10 100 1000 Hz โดยอุณหภูมิของฝั่งร้อนและฝั่งเย็นของอุปกรณ์เริ่มต้นที่ 27°C เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุล อุณหภูมิฝั่งร้อนจะมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ 40°C และอุณหภูมิฝั่งเย็นหลังจากมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 8°C จะทำการบันทึกเวลาในการทำความเย็น เมื่อความถี่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

ตอนที่ 3 การหาดีวีตี้ไซเคิลที่เหมาะสม

สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม โดยกำหนดค่า ดิวตี้ไซเคิล และความถี่ของกระแสไฟฟ้าผ่านบล็อกรีพีทติ้ง ซีควเอนซ์ (Repeating Sequence) ซึ่งทำการเชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source) เพื่อสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมมีความถี่ในการทดลองอยู่ที่ 100 Hz ดิวตี้ไซเคิล 60% 70% 80% 90% และ 100% โดยอุณหภูมิของฝั่งร้อนและฝั่งเย็นของอุปกรณ์เริ่มต้นที่ 27°C เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุล อุณหภูมิฝั่งร้อนจะมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ 40°C และอุณหภูมิฝั่งเย็นหลังจากมีการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยม เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 8°C จะทำการบันทึกเวลา ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่ากำลังไฟฟ้า

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง**ตอนที่ 1 กระแสไฟฟ้าตรงที่เหมาะสม**

ในงานวิจัยนี้เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1 ถึง 7 A เป็นเวลา 100 s และทำการบันทึกค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิฝั่งเย็น ผลการจำลองแสดงดัง Fig. 7 โดยพบว่าเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1 ถึง 3 A อุณหภูมิจะลดลงจาก 18.4°C ถึง 7.3°C เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มตั้งแต่ 4 ถึง 7 A อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 8.8 ถึง 36.4°C เป็นไปตามปรากฏการณ์ของจูล (Joule's Heating) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เชื่อมโยง ระหว่างไฟฟ้าและความร้อนแบบย้อนกลับไม่ได้ เนื่องจาก มีความร้อนเกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุ เป็นผลให้เมื่อมีการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่งเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น จากการจำลองพบว่ากระแสไฟฟ้าตรงที่สามารถทำความเย็นได้ดีที่สุด คือ กระแสไฟฟ้าตรง 3 A ซึ่งพฤติกรรมจะมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alfred and Jeffrey (2017) คือ เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นรูปสามเหลี่ยม จนถึงค่ากระแสไฟฟ้าตรงสูงสุดค่า จะพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่งเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น

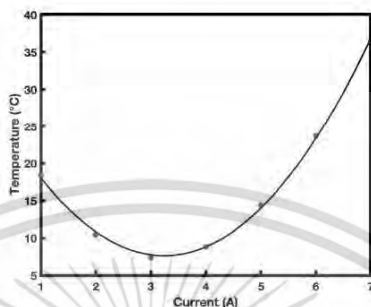


Fig. 7 Test results for maximum temperature versus the currents

ตอนที่ 2 การหาความถี่ที่เหมาะสม

Table 1 Suitable Frequency for applying to thermoelectric device.

Frequency (Hz)	Duty Cycle (%)			
	60	70	80	90
	Time(s)			
10	273.7	182.2	138.5	112.2
100	272.9	181.9	138.3	112.1
1000	273.3	181.8	138.1	111.8

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมต่อเนื่อง โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมต่อเนื่อง คือ ความถี่ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการศึกษาความถี่ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 10 100 และ 1000 Hz และมีการกำหนดดิวตี้ไซเคิลไว้ 4 ค่า คือ 60% 70% 80% และ 90% ทำการบันทึกเวลา เมื่ออุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27°C ถึง 8°C จาก Table 1 ผลการจำลองพบว่า ค่าดิวตี้ไซเคิล 60% เมื่อค่าความถี่เปลี่ยนไปตั้งแต่ 10 100 และ 1000 Hz เวลาในการทำความเย็นมีค่า 273.7 272.9 และ 273.3 s ตามลำดับ ซึ่งที่ค่าดิวตี้ไซเคิลค่าต่างๆ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ เวลาในการทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจากการจำลองพบว่าความถี่ส่งผลให้ช่วงเวลาที่ใช้ลดลงเพียงเล็กน้อย (ยกเว้นที่ ดิวตี้ไซเคิล 60%) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกความถี่ที่ 100 Hz ซึ่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมอ้างอิงจากจากวิจัยของ Manikandan และคณะ ซึ่งทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นรูปสัญญาณรูปต่างๆ ตั้งแต่สัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม (Square) การเพิ่มขึ้นแบบแรมป์ (Ramp up) การลดลงแบบแรมป์ (Ramp down) การเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential rise) และการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Decay) จากการจำลองพบว่าเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงสุด และใช้กำลังไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การหาตัวที่ไซเคิลที่เหมาะสม

Table 2 Suitable duty cycle for applying to thermoelectric device

Duty Cycle (%)	Time (s)	Power (W)	COP
60	272.9	0.1169	0.4106
70	181.9	0.1347	0.3563
80	138.3	0.1509	0.3181
90	112.1	0.1676	0.2864
100 (DC 3 A)	94.4	0.1800	0.2644

จากการจำลองในตอนต้นที่ 2 พารามิเตอร์ที่สนใจสำหรับการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยม คือ ตัวที่ไซเคิล และจากผลการจำลองตอนที่ 2 แสดงค่าความถี่ที่สนใจ คือ 100 Hz และศึกษาตัวที่ไซเคิล ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 60% 70% 80% 90% และ 100% จาก Table 2 ทำการบันทึก เมื่ออุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27°C ถึง 8°C ผลการจำลองพบว่า เมื่อตัวที่ไซเคิล มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความเย็นจะมีค่าลดลงจาก 272.9 181.9 138.3 112.1 ถึง 94.4 s แปรผกผันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเพลเทียร์ที่จะเพิ่มมากขึ้นจาก 0.1169 0.1347 0.1509 0.1676 ถึง 0.1800 W เมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นพบว่า เมื่อตัวที่ไซเคิล เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นจะลดลงจาก 0.4106 0.3563 0.3181 0.2864 ถึง 0.2644 ซึ่งเวลาในการทำความเย็นที่ตัวที่ไซเคิล 60% 70% 80% และ 90% หากเทียบกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงหรือตัวที่ไซเคิล 100% จะมีการใช้เวลาเพิ่มขึ้น 188.90% 92.53% 46.41% และ 18.63% ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลง 35.06% 25.17% 16.17% และ 6.89% ตามลำดับส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น 55.30% 34.76% 20.31% และ 8.32% ตามลำดับ ซึ่งตัวที่ไซเคิล สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ใช้เวลาในการทำความเย็นมากขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง เมื่อเรามีกำลังไฟฟ้าที่จำกัด

สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการหาเงื่อนไขการทำความเย็นที่เหมาะสมของเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยมเพื่อการประยุกต์เป็นอุปกรณ์จัดเก็บวัคซีน ซึ่งทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยม คือ ตัวที่ไซเคิล และความถี่ จากการจำลองตอนที่ 1 ทำการหากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 1 – 7 A เป็นเวลา 100 s โดยบันทึกอุณหภูมิที่เย็น พบว่า กระแสไฟฟ้าตรง 3 A สามารถทำให้อุณหภูมิที่เย็นลงมาถึงจุดที่ต่ำที่สุด การจำลองตอนที่ 2 คือ การหาความถี่ที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาความถี่ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 10 100 และ 1000 Hz หลังจากมีจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรูปสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยม เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 8°C ทำการบันทึกเวลาในการทำความเย็น เมื่อความถี่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป พบเวลาในการทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจากการจำลองพบว่าความถี่ส่งผลให้ช่วงเวลาที่ใช้ลดลงเพียงเล็กน้อย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกความถี่ที่ 100 Hz การจำลองตอนที่ 3 คือ การหาตัวที่ไซเคิลที่เหมาะสม มีการกำหนดตัวที่ไซเคิลไว้ 4 ค่า คือ 60% 70% 80% 90% และ 100% ทำการบันทึกเวลา เมื่ออุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27°C ถึง 8°C ผลการจำลองพบว่าในการทำความเย็นที่ตัวที่ไซเคิล 60% 70% 80% และ 90% หากเทียบกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงหรือตัวที่ไซเคิล 100% จะมีการใช้เวลาเพิ่มขึ้น 188.90% 92.53% 46.41% และ 18.63% ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลง 35.06% 25.17%

การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60

สาขาวิทยาศาสตร์

16.17% และ 6.89% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น 55.30% 34.76% 20.31% และ 8.32% ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เพราะความอนุเคราะห์จากรศ.ดร.อาภาภรณ์ สกฤตกระเวก และผศ.ดร.ภาณุพล โขตินกระโทก รวมทั้งความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนการวิจัย และการอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ เป็นอย่างดี จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- เชษฐา รัตนพันธ์. 2562. เทอร์โมอิเล็กทริกส์, พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิน เซอริส ซัพพลาย. กรุงเทพฯ.
- ศิริรัตน์ เตชะธวัช. 2547. คู่มือการบริหารจัดการวัดชิ้นและระบบลูกโซ่ความเย็น. โรงพิมพ์การศาสนา สำนักงานพุทธศาสนาแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.
- ศรัทธา อภรณ์รัตน์. 2557. ทฤษฎีระบบเครื่องทำความเย็น. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- Alfred, J.P., Jeffrey, S.A. 2017. Peltier supercooling with isosceles current pulses: Cooling an object with internal heat generation. ECS J. Solid State Sci. Technol. 6(12): 250–259. doi.org/10.1149/2.0391712jss
- Hao, LV., Xiao-Dong, Wang., Tian-Hu, Wang., Jing-Hui, Meng. 2015. Optimal pulse current shape for transient supercooling of thermoelectric cooler. Energy. 83: 788–796. doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.092
- Jugsujinda, S., Vora-ud, A., Seetawan, T. 2011. Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance. In: 2nd International Science, Social-Science, Engineering and Energy Conference 2010: Engineering Science and Management. Nakhonphanom, Thailand. pp. 154–159.
- Kurniawan, M.A., Aziz, A., Akmal, M. 2018. Portable thermoelectric cooler box performance with variation of input power and cooling load. Aceh Int. J. Sci. & Technol. 7(2): 85–92. doi.org/10.13170/aijst.7.2.8722
- Mirmanto, Alit, I.B., Sayoga, I.M.A., Sulanto, R., Nurchayati, Mulyanto, A. 2018. Experimental cooler box using two different heat removal units: a heat sink fin-fan, and a double fan heat pipe. Front. Heat Mass Transfer. 10: 34. doi.org/10.5098/hmt.10.34
- Mirmanto, M., Syahrul, S., Wirdan, Y. 2019. Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. Eng. Sci. Technol. an Int. 22: 177–184. doi.org/10.1016/j.jestch.2018.09.006
- Martinez, A., Astrain, D., Rodriguez, A., Perez, G. 2013. Reduction in the electric power consumption of a thermoelectric refrigerator by experimental optimization of the temperature controller. J. Electron. Mater. 42: 1499–1503.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Manikandan, S., Kaushik, S.C., Yang, Ronggui. 2017. Modified pulse operation of thermoelectric coolers for building cooling applications. *Energy Conversion and Management*. 140: 145–156. doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.003
- Punit, F., Amit, K., Abhiram, M., Dr.Abhay, G., Dr.Prachi, P., Prof.Alok, N., Dr.Gaurav, M. 2020. An IOT enabled convenient vaccine cold box for biomedical use. *Eur. J. Mol. Clin. Med.* 7(7): 1576–1585.
- Petal, C. 2017. Simulation of thermoelectric cooler and h-bridge driver for precise temperature control applications. Degree of master of Technology in Instrumentation, National Institute of Technology.
- Sabah, A., Elkamel, A., Al-Damkhi A.M. Elkamel, A., Al-habsi, I.-H., Chutani, M. 2009. Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator. *Renew. Energy*. 34: 30–34.
- Vian, J.G., Astrain, D., Dominquez, M. 2002. Numerical modelling and design of a thermoelectric dehumidifier. *Appl. Therm. Eng.* 22: 407–422.
- Vian, J.G., Astrain, D. 2009. Development of a thermoelectric refrigerator with two-phase thermosyphons and capillary lift. *Appl. Therm. Eng.* 29: 1935–1940.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนันทน์ งามทรัพย์มณี
วัน เดือน ปีเกิด	18 กันยายน 2539
ที่อยู่ปัจจุบัน	1351 หมู่ 1 ตำบลพนมสารคาม อําเภอพนมสารคาม ฉะเชิงเทรา 24120
ประวัติการศึกษา	(2561) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.31 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (2565) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 4.00 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	Wanasanan Ngamsapmanee, Aparporn Sakulkalavek, Bhanuphol Klongratog, Optimization condition of thermoelectric cooling using square current wave simulation for storage of vaccine application. E-Proceedings KU Annual Conference, 64-72 (2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้